



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

ESTUDI DE FACTORS INCIDENTS EN LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC

Treball realitzat per:

CLÀUDIA CAMPS GRAU

Dirigit per:

ADRIANA MARTÍNEZ REGUERO

Grau en:

ENGINYERIA DE LA CONSTRUCCIÓ

Barcelona, **20 DE JUNY DE 2014**

Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori

TREBALL FINAL DE GRAU

AGRAÏMENTS

La realització d'aquesta tesina final de grau ha estat per mi molt satisfactòria ja que m'ha permès profunditzar en el tema de l'auscultació de les propietats superficials de carreteres i tots els diferents aspectes relacionats amb aquest món, el qual desenvolupa un paper fonamental en quan a la seguretat vial de les persones.

En primer lloc, voldria agrair el suport rebut per part de la senyora Adriana Martínez, la meua tutora de referència, la qual m'ha ajudat en tot moment en la organització del treball i en portar un correcte i acurat seguiment d'aquest amb l'objectiu de donar coherència i facilitar la comprensió del contingut del treball. D'altra banda, també m'ha proporcionat les alternatives necessàries per tal de prioritzar aquells aspectes de major rellevància a destacar.

En segon lloc, també he d'agrair al personal del Departament de Gestió de Ferms de l'empresa *Applus*, i especialment al senyor Alberto Martínez, Director Tècnic del Departament, ja que m'ha permès realitzar les pràctiques i poder fer ús de la major part de les dades presents en aquest treball, les quals han estat necessàries per tal d'arribar a obtenir els resultats satisfactoris que he pogut aconseguir. A més a més de proporcionar-me tota aquesta informació, m'ha permès adquirir experiència en el sector d'enginyeria de la construcció.

En tercer lloc, vull destacar la meua família, per donar-me el suport necessari per tirar endavant amb la tesina i per l'energia positiva transmesa al llarg de tota la elaboració d'aquest, cosa que m'ha permès tenir ganes i continuar endavant fins al final.

RESUM

En els últims temps, ha adquirit molta importància el fet de proporcionar una adequada seguretat vial als usuaris i, per tant, una de les principals accions a desenvolupar ha estat la reducció dels accidents de tràfic i poder minimitzar al màxim altres tipus de situacions perilloses.

Una de les característiques a tenir en compte és la resistència al lliscament d'un paviment asfàltic ja que aquesta té una gran vinculació en quan a la seguretat i comoditat dels usuaris i tenir un correcte valor de resistència al lliscament permetrà, com ja s'ha comentat, disminuir el nombre d'accidents de tràfic degut a les males condicions del paviment.

Mitjançant la realització d'aquest projecte, s'ha pogut observar la variabilitat de valors que presenta aquest paràmetre estudiat ja que depèn de múltiples factors, alguns dels quals han estat estudiats i analitzats en aquest present treball.

S'ha estudiat l'efecte del canvi d'estacionalitat cosa que ha permès observar que la resistència al lliscament presenta valors màxims a l'hivern i mínims a l'estiu donant lloc a una corba de forma sinusoidal que es troba representada en el primer dels estudis realitzats. També s'ha analitzat l'efecte que provoca la pluviometria els dies immediatament anteriors a la mesura del CRT ja que la pluja juntament amb el tràfic proporcionen una neteja del paviment que en el moment en què aquest s'asseca, permet aconseguir valors de resistència al lliscament superiors als que es tenien abans de produir-se la precipitació.

Posteriorment, s'ha analitzat la influència de les diferents vies presents en un mateix tram de carretera ja que les vies lentes de circulació presenten un menor coeficient de fregament transversal degut al major desgast de la capa de rodadura provocat per l'elevat percentatge de vehicles pesats. A més a més del tipus de via, també s'ha estudiat com influeix la intensitat de tràfic en la resistència al lliscament mitjançant l'anàlisi de tres trams d'una mateixa carretera amb diferents intensitats cosa que ha permès extreure'n conclusions significatives al respecte.

Finalment, també s'ha realitzat un petit estudi amb l'objectiu d'intentar obtenir resultats representatius en quan a l'efecte de la temperatura sobre la resistència al lliscament i la influència que presenta disposar d'estructures cobertes, com seria el cas de túnels en quan a la variabilitat del coeficient de fregament transversal ja que aquestes estructures comportaran una major quantitat de contaminants sobre la capa de rodadura que es manifestarà proporcionant una menor resistència al lliscament en aquestes zones.

ABSTRACT

Recently, it has become very important the fact of providing an adequate road safety to road users and, for this reason, one of the most important actions to do is the reduction of traffic accidents and the minimization of other dangerous actions.

One of the main characteristics to take into account is skid resistance because it has a large entailment with safety and comfort of road users. So, having a good skid resistance value will allow reducing the number of road accidents due to the bad conditions of the pavement. By performing this project, I have observed the variability that skid resistance presents because it depends on a lot of factors and some of them have been studied and analysed in this work.

I have studied the effect of seasonal variation and it has let me to observe that skid resistance shows the highest values in winter and the lowest in summer and it adjusts to a sinusoidal curve, which is represented in the first studied carried out. Moreover, I have analysed the effect produced by the rain the days just before the measurement of the lateral friction coefficient because rain and traffic provide a cleaning of the pavement that at the moment in which the pavement is dry, causes higher skid resistance values than those measured before de precipitation.

After that, I have analysed the influence of different types of lane that exist in a same road because slow lanes present a lower lateral friction coefficient due to the wear of the surface layer produced by the high percentage of heavy traffic. What's more, I have studied how traffic intensity affects the skid resistance by analysing three sections of a same road subjected to different traffic intensity and I have obtained significant conclusions related to this.

Finally, I have done a small study with the aim of observing the effect of temperature in skid resistance and the influence of having covered structures such as tunnels. This type of structures will produce a big quantity of pollutants on the surface layer and so, there will be a lower skid resistance in those sections.

▪ LLISTAT DE FIGURES.....	I
▪ LLISTAT DE TAULES	V
▪ CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.....	1
1.1 ANTECEDENTS	1
1.2 OBJECTIUS	2
1.3 CONTINGUT DE LA TESINA.....	3
▪ CAPÍTOL 2. PROPIETATS SUPERFICIALS D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC.....	5
2.1 MESCLES BITUMINOSES	5
2.1.1 CONCEPTE I COMPOSICIÓ DE LES MESCLES BITUMINOSES.....	5
2.1.2 FUNCIONALITAT DE LES MESCLES BITUMINOSES.....	6
2.1.3 PROPIETATS D'UNA MESCLA BITUMINOSA EN CAPES DE RODADURA	8
2.2 CARACTERÍSTIQUES SUPERFICIALS INFLUENTS EN L'ADHERÈNCIA PNEUMÀTIC-PAVIMENT	10
2.2.1 INTRODUCCIÓ	10
2.2.2 REGULARITAT SUPERFICIAL.....	11
2.2.3 TEXTURA SUPERFICIAL	11
2.2.4 RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT.....	13
2.3 TEXTURA SUPERFICIAL D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC	14
2.3.1 CLASSIFICACIÓ DEL TIPUS DE TEXTURA SUPERFICIAL.....	14
2.3.1.1 Microtextura	14
2.3.1.2 Macrotextura	14
2.3.1.3 Megatextura.....	17

2.3.2	CARACTERÍSTIQUES DEL FREGAMENT SEGONS LA SEVA MACROTEXTURA	19
2.3.3	MESURA I EVALUACIÓ DE LA TEXTURA.....	20
2.3.3.1	Cercle de sorra	20
2.3.3.2	Equip Circular Texture Meter (CTMeter)	21
2.3.3.3	Equip LTS (Làser Texture Scanner)	22

■ CAPÍTOL 3. CARACTERITZACIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT ...23

3.1	INTRODUCCIÓ	23
3.2	CARACTERÍSTIQUES DE LA FRICCIÓ.....	24
3.3	PROPIETATS DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL.....	27
3.4	COMPORTAMENT DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT	29
3.5	FACTORS INFLUENTS EN L'ADHERÈNCIA PNEUMÀTIC-PAVIMENT	31
3.5.1	FACTORS AMBIENTALS.....	32
3.5.1.1	Precipitacions caigudes els dies anteriors a la mesura del CRT	32
3.5.1.2	Temperatura	33
3.5.1.3	Variacions estacionals	35
3.5.2	EFFECTE DEL TRÀNSIT	36
3.5.2.1	Intensitat de tràfic.....	36
3.5.2.2	Categoria de la via	36
3.5.3	FACTORS ASSOCIATS AL PAVIMENT.....	37
3.5.3.1	Materials empleats.....	37
3.5.3.2	Acabat de la superfície	37
3.5.3.3	Condicció geomètrica	37
3.6	EQUIPS DE MESURA DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT	38
3.6.1	INTRODUCCIÓ	38
3.6.2	SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine)	39
3.6.2.1	Introducció	39
3.6.2.2	Principis de mesura	39

3.6.2.3 Aparells i materials necessaris per a la mesura del CRT	40
3.6.2.4 Mode operatiu de l'equip	42
3.6.2.5 Sistema làser de mesura de la macrotextura d'un paviment	433
3.6.3 EQUIP GRIP-TESTER.....	444
3.6.4 PÈNDOL DE FRICCIÓ TRRL	44
3.6.5 EQUIP MU METER	45
3.7 ÍNDEX DE FRICCIÓ INTERNACIONAL.....	46
3.8 NORMATIVA DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT I LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL	47
3.8.1 ESPECIFICACIONS DE LA UNITAT ACABADA.....	47
3.8.2 CONTROL DE RECEPCIÓ DE LA UNITAT ACABADA	48
3.8.3 CRITERIS D'ACCEPTACIÓ O ELIMINACIÓ	499
 ▪ CAPÍTOL 4. ESTUDIS REALITZATS I ANÀLISI DE RESULTATS	50
4.1 INTRODUCCIÓ	50
4.2 ESTUDI DE LA VARIACIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT DEGUT A LES CONDICIONS CLIMÀTIQUES	51
4.2.1 OBJECTIU PRIMER ESTUDI.....	51
4.2.2 CARACTERÍSTIQUES DEL TRAM OBJECTE D'ESTUDI.....	52
4.2.3 VARIACIÓ ESTACIONAL DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT	56
4.2.4 ANÀLISI DE LES VARIACIONS DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT DEGUT A LES PRECIPITACIONS CAIGUDES ELS DIES ANTERIORS A LA MESURA DEL CRT....	58
4.2.5 RELACIÓ ENTRE EL VALOR DEL CRT, PRECIPITACIÓ CAIGUDA I L'ESTACIONALITAT	63
4.3 ESTUDI DE LA INFLUÈNCIA DELS CARRILS DE CIRCULACIÓ EN LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT	65
4.3.1 OBJECTIU SEGON ESTUDI.....	65
4.3.2 CARACTERÍSTIQUES DELS TRAMS OBJECTE D'ESTUDI	65

4.3.3 ANÀLISI DE LA INFLUÈNCIA DEL TIPUS DE VIA EN EL VALOR DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL.....	66
4.3.4 ANÀLISI DE LA VARIACIÓ DEL COEFICIENT DE FREGAMENT AMB LA PLUVIOMETRIA.....	81
4.3.5 CONCLUSIONS.....	86
4.4 ESTUDI DE LA INFLUÈNCIA DE LA INTENSITAT DE TRÀFIC EN LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT	87
4.4.1 OBJECTIU TERCER ESTUDI	87
4.4.2 CARACTERÍSTIQUES DELS TRAMS OBJECTE D'ESTUDI	87
4.4.3 ANÀLISI DE LA INFLUÈNCIA DE LA INTENSITAT DE TRÀFIC EN EL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL.....	88
4.4.4 CONCLUSIONS.....	91
4.5 ESTUDI D'ALTRES CONDICIONANTS EN LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC	92
4.5.1 OBJECTIU QUART ESTUDI.....	92
4.5.2 TEMPERATURA.....	92
4.5.3 EVOLUCIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT DAVANT ESTRUCTURES COBERTES.....	95
4.5.4 CONCLUSIONS.....	98
▪ CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS	100
▪ REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....	102

ANNEXES

ANNEX 1.....	1
ANNEX 2	4
ANNEX 3	9
ANNEX 4	14

ANNEX 5	45
ANNEX 6	49
ANNEX 7	58

LLISTAT DE FIGURES

❖ CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

Figura 1.1. Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)2

❖ CAPÍTOL 2. PROPIETATS SUPERICIALS D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC

Figura 2.1. Situacions que afecten a la resistència al lliscament13

Figura 2.2. Diferents tipus de textura superficial d'un paviment14

Figura 2.3. Exemple de macrotextura d'un paviment 14

Figura 2.4. Concepte de microtextura i macrotextura15

Figura 2.5. Intervals de valors de textura en relació a la longitud d'ona i els seus efectes.....16

Figura 2.6. Representació macrotextura positiva17

Figura 2.7. Representació macrotextura negativa17

Figura 2.8. Classificació de la textura segons la AIPCR.....18

Figura 2.9. Esquematització dels tipus de textura18

Figura 2.10. Representació dels tipus de microtextura i macrotextura.....19

Figura 2.11. Esquema de l'assaig del cercle de sorra21

Figura 2.12. Equip Circular Texture Meter (CTM)21

Figura 2.13. Descripció gràfica pel càlcul de la MPD22

Figura 2.14. Equip estàtic de mesura de la textura22

❖ CAPÍTOL 3. CARACTERITZACIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

Figura 3.1. Fenomen d'hidroplanneig24

Figura 3.2. Contacte pneumàtic-paviment amb la presència d'aigua.....25

Figura 3.3. Representació de l'adhesió e l'histèresis	26
Figura 3.4. Relació dels tipus de textura amb les components de la fricció	26
Figura 3.5. Procés evolutiu del coeficient de fregament transversal.....	30
Figura 3.6. Condicions del paviment per l'efecte de la pluja	32
Figura 3.7. Variació estacional de la resistència al lliscament	35
Figura 3.8. Intensitat de tràfic	36
Figura 3.9. Representació dels tipus de vies	36
Figura 3.10. Paviment en males condicions de neteja	37
Figura 3.11. Sistema de gestió de fers	38
Figura 3.12. Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)	39
Figura 3.13. Representació de les forces actuant.....	40
Figura 3.14. Roda d'assaig de l'equip SCRIM.....	40
Figura 3.15. Esquema representatiu de les parts de l'equip SCRIM	41
Figura 3.16. Principi de mesura del làser	43
Figura 3.17. Equip Grip-Tester.....	44
Figura 3.18. Pèndol de fricció TRRL	45
Figura 3.19. Equip Mu Meter.....	46

❖ **CAPÍTOL 4. ESTUDIS REALITZATS I ANÀLISI DE RESULTATS**

Figura 4.1. Representació gràfica del valor mig del coeficient de fregament transversal per cada auscultació	55
Figura 4.2. Variació estacional del coeficient de fregament transversal	57
Figura 4.3. Precipitacions caigudes dies anteriors a la mesura del CRT.....	60
Figura 4.4. Relació CRT amb la precipitació caiguda una setmana anterior a la mesura del CRT	61
Figura 4.5. Relació CRT amb la precipitació caiguda dues setmanes anteriors a la mesura del CRT	62

Figura 4.6. Relació CRT amb la precipitació caiguda tres setmanes anteriors a la mesura del CRT	62
Figura 4.7. Relació CRT, precipitació i estacionalitat de les diferents auscultacions.....	64
Figura 4.8. Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit creixent	67
Figura 4.9. Gràfic evolutiu del CRT en la via 1	68
Figura 4.10. Gràfic evolutiu del CRT en la via 2	69
Figura 4.11. Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit decreixent.....	69
Figura 4.12. Gràfic evolutiu del CRT en la via 3	70
Figura 4.13. Gràfic evolutiu del CRT en la via 4	71
Figura 4.14. Histograma del CRT acumulat del 15 d'Abril de 2014.....	71
Figura 4.15. Histograma del CRT acumulat del 22 de Novembre de 2013	72
Figura 4.16. Histograma del CRT acumulat del 13 de Novembre de 2013	72
Figura 4.17. Histograma del CRT acumulat del 5 de Novembre de 2012	73
Figura 4.18. Histograma del CRT acumulat del 5 d'Octubre de 2011	73
Figura 4.19. Histograma del CRT acumulat del 30 de Desembre de 2010.....	74
Figura 4.20. Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit creixent.....	76
Figura 4.21. Gràfic evolutiu del CRT en la via 1	76
Figura 4.22. Gràfic evolutiu del CRT en la via 2	77
Figura 4.23. Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit decreixent.....	77
Figura 4.24. Gràfic evolutiu del CRT en la via 3	78
Figura 4.25. Gràfic evolutiu del CRT en la via 4	78
Figura 4.26. Histograma del CRT acumulat del 22 de Novembre de 2013	79
Figura 4.27. Histograma del CRT acumulat del 13 de Novembre de 2013	79
Figura 4.28. Histograma del CRT acumulat del 5 d'Octubre de 2011	80
Figura 4.29. Histograma del CRT acumulat del 14 de Desembre de 2010.....	80
Figura 4.30. Relació CRT amb la pluviometria dies abans a la mesura del CRT	83

Figura 4.31. Relació CRT amb la pluviometria dies abans a la mesura del CRT	85
Figura 4.32. Relació CRT amb les diferents intensitats de tràfic	89
Figura 4.33. Relació CRT amb dues intensitats de tràfic	90
Figura 4.34. Evolució del CRT amb el canvi de temperatura (tram amb poc tràfic) ..	93
Figura 4.35. Evolució del CRT amb el canvi de temperatura (tram amb molt tràfic).	94
Figura 4.36. Imatge entrada primer túnel	96
Figura 4.37. Recorregut del CRT a l'entrada del primer túnel	96
Figura 4.38. Imatge sortida primer túnel	97
Figura 4.39. Recorregut del CRT a la sortida del primer túnel	97
Figura 4.40. Imatge entrada segon túnel	97
Figura 4.41. Imatge sortida segon túnel.....	97
Figura 4.42. Recorregut del CRT a l'entrada i sortida del segon túnel.....	95

LLISTAT DE TAULES

❖ **CAPÍTOL 2. PROPIETATS SUPERICIALS D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC**

Taula 2.1. Classificació de les mescles bituminoses6

Taula 2.2. Caracterització dels tipus de textura d'un paviment.....18

❖ **CAPÍTOL 3. CARACTERITZACIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT**

Taula 3.1. Valors mínims del coeficient de fregament transversal.....27

Taula 3.2. Macrotextura superficial i resistència al lliscament de mescles tipus formigó bituminós per capes de rodadura47

Taula 3.3. Macrotextura superficial i resistència al lliscament de mescles drenants i discontinues per capes de rodadura48

❖ **CAPÍTOL 4. ESTUDIS REALITZATS I ANÀLISI DE RESULTATS**

Taula 4.1. Dates de mesura del coeficient de fregament transversal52

Taula 4.2. Valor mig del coeficient de fregament transversal de cada auscultació...53

Taula 4.3. Dates de mesura en l'estudi de la pluviometria.....58

Taula 4.4. Precipitacions caigudes dies abans a la mesura del CRT59

Taula 4.5. Dates de mesura de les auscultacions del primer tram65

Taula 4.6. Dates de mesura de les auscultacions del segon tram.....64

Taula 4.7. Resultats de CRT de totes les auscultacions i per cada via de circulació (primer tram).66

Taula 4.8. Resultats de CRT de totes les auscultacions i per cada via de circulació (segon tram).....75

Taula 4.9. Resultats de CRT d'auscultacions afectades per la pluviometria (tram 1)81

Taula 4.10. Pluviometria quinze dies abans a la mesura del CRT (tram 1)82

Taula 4.11. Resultats de CRT d'auscultacions afectades per la pluviometria (tram 2)84

Taula 4.12. Pluviometria quinze dies abans a la mesura del CRT (tram 2)	84
Taula 4.13. Intensitat de tràfic i percentatge de vehicles pesats dels trams auscultats	87
Taula 4.14. Valors de CRT per cada una de les vies dels tres trams analitzats	88
Taula 4.15. Paràmetres estadístics calculats.....	89
Taula 4.16. Valors de CRT a l'entrada del primer túnel	96
Taula 4.17. Valors de CRT a la sortida del primer túnel	97
Taula 4.18. Valors de CRT en tota la longitud del segon túnel	98

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ

1.1 ANTECEDENTS

L'objectiu principal d'un paviment en qualsevol tipus de via és el de proporcionar als usuaris de la infraestructura vial una superfície còmode i segura per tal de transitar ràpida i econòmicament. L'estat i la situació de les característiques del paviment afecten a la seguretat i comoditat de l'usuari de la conducció i, paràmetres com la fricció, textura, regularitat superficial, fissuració...esdevenen factors que formen part de l'anàlisi dels accidents de tràfic. Avaluar i quantificar aquests paràmetres requereix de tècniques avançades d'auscultació de ferms amb la finalitat de conèixer amb major precisió el pes i la influència de cada un d'ells.

Des de el punt de vista de l'enginyer, sempre s'ha donat molt interès en la capacitat de resistència d'una estructura en el moment de projectar-la. Per tant, han adquirit una major importància les característiques estructurals i menor les funcionals. La capa de rodadura d'un paviment és la principal responsable de la seguretat cosa que implica una acurada construcció i la utilització dels materials òptims que proporcionin una elevada adherència entre el pneumàtic i la superfície de rodadura, alta macrotextura, bona absorció dels sorolls interns i externs del vehicle i un baix desgast dels pneumàtics entre altres factors a destacar. L'adherència pneumàtic-paviment està directament relacionada amb la resistència al lliscament ja que posseir una alta resistència garanteix una millor seguretat als usuaris davant qualsevol situació d'emergència i permet minimitzar el risc d'accidents.

La resistència al lliscament esdevé un paràmetre que depèn de molts condicionants com serien l'efecte del trànsit, variacions climàtiques o els materials empleats en l'execució de la capa de rodadura, entre altres. És per aquest motiu que comporta dificultats en la seva avaluació ja que degut a tots els factors exposats, presenta una gran variabilitat de valors al llarg de tota la vida útil d'una carretera.

Tot i aquesta dificultat, l'interès en disposar d'una xarxa viària segura i còmode als usuaris és un factor suficientment important com per realitzar auscultacions periòdiques a les carreteres per tal de veure les condicions en les quals es troben, i si la pèrdua d'adherència és significativa, poder aplicar les mesures correctores adequades abans que es pugui ocasionar qualsevol situació perillosa i afectar als usuaris de les vies. Mitjançant equips d'auscultació dotats de les tècniques més avançades, és possible adquirir nombrosos paràmetres de la carretera i al mateix temps combinar

aquestes dades amb la filmació a través de càmeres de video d'alta resolució de la perspectiva i planta del ferm.

Per tant, cal donar prioritat a la conservació de les carreteres davant la construcció de noves infraestructures ja que controlar el deteriorament de les carreteres existents resulta més rentable que l'expansió de la xarxa viària.

1.2 OBJECTIUS

En aquest present projecte l'objectiu ha estat l'estudi de diferents condicionants que afecten a la resistència al lliscament d'un paviment asfàltic. L'anàlisi d'aquests diversos factors que provoquen aquesta variabilitat en la resistència al lliscament ha permès determinar si algun d'ells esdevé representatiu i adquireix una importància significativa en quan a les fluctuacions presents en la resistència al lliscament al llarg de la vida útil d'una carretera.

En la primera part d'aquest projecte s'exposa una breu introducció de les propietats generals d'una mescla bituminosa i s'expliquen aquelles característiques superficials que afecten a l'adherència pneumàtic-paviment d'una carretera (regularitat superficial, textura i resistència al lliscament). En aquest apartat és fa èmfasis a les propietats i forma de mesura i avaluació de la textura superficial d'un paviment.

Tot seguit, es realitza un capítol centrat únicament en la caracterització de la resistència al lliscament on essencialment es fa referència als factors que afecten a aquesta propietat dels paviments i es mostren també els equips de major rellevància en quan al càlcul del coeficient de fregament transversal per tal de tenir coneixement de l'estat de les carreteres en termes d'adherència entre pneumàtic i paviment. Tots els valors presents en el treball s'han mesurat amb l'equip SCRIM el qual s'explica detalladament en apartats posteriors i es mostra en la figura 1.1.



Fig.1.1 – Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)

Una vegada exposada tota la part teòrica del treball, es porta a terme el capítol sobre els estudis realitzats i l'extracció de resultats de cada un d'ells. S'han fet quatre estudis diferents, cada un d'ells tenint en compte un condicionant diferent en quan a l'afectació sobre la resistència al lliscament. El primer dels estudis tracta sobre l'efecte de la variació climàtica en un tram de carretera on s'hi estudien els canvis estacionals i

la pluviometria en aquest tram objecte d'estudi. L'objectiu d'aquest cas és poder observar la variabilitat que presenta el CRT amb el canvi d'estacionalitat i al mateix temps degut a l'efecte de les precipitacions caigudes els dies anteriors a la mesura d'aquest paràmetre.

El segon consisteix en observar les variacions del coeficient de fregament transversal en les quatre vies de circulació i en dos trams amb les mateixes característiques per tal de veure si existeixen diferències significatives entre les vies ràpides i lentes de circulació. Al realitzar el mateix estudi en dos trams, el segon ha estat de gran utilitat per tal de fer una comprovació i poder veure si els resultats obtinguts en el primer tram tenien suficient coherència per tal d'acceptar la diferència entre vies de circulació com a condicionant significatiu.

El tercer estudi consisteix en analitzar tres trams d'una mateixa carretera que posseeixen tres intensitats de tràfic diferent i així poder veure l'efecte d'aquest factor en proporcionar una major o menor resistència al lliscament. I finalment, l'últim estudi ha estat analitzar altres possibles condicionants que poden afectar l'adherència, en concret la temperatura i la presència d'estructures cobertes, cosa que són dos factors que comporten més dificultats a l'hora d'obtenir-ne resultats significatius però tot i així s'han dut a terme els corresponents estudis.

De tots els estudis portats a terme s'han obtingut les corresponents conclusions que s'exposen en cada un d'ells.

1.3 CONTINGUT DE LA TESINA

Aquest treball ha estat estructurat en cinc capítols per tal de proporcionar una correcta i adequada comprensió de tot el contingut. Per tant, la organització del treball ha estat seguint el següent esquema:

- ❖ CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ: En aquest capítol s'han explicat els objectius d'aquest treball i s'ha realitzat una breu introducció per tal de familiaritzar els usuaris al món de l'auscultació de carreteres i remarcar la importància que presenta la resistència al lliscament davant la seguretat vial.
- ❖ CAPÍTOL 2. PROPIETATS SUPERFICIALS D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC: Tot seguit s'ha considerat necessari explicar els conceptes bàsics i fonamentals de les mescles bituminoses i posteriorment enumerar i comentar aquelles característiques superficials que presenten una major afectació en un paviment asfàltic.
- ❖ CAPÍTOL 3. CARACTERITZACIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT: Aquest consisteix en el capítol teòric de major importància ja que està centrat exclusivament en la

resistència al lliscament la qual esdevé la característica superficial estudiada i analitzada en aquesta tesina. S'exposen tots aquells factors incidents sobre aquest paràmetre i s'expliquen els diferents equips especialitzats de mesura del coeficient de fregament transversal per tal de tenir coneixença de l'adherència pneumàtic-paviment de qualsevol tram objecte d'estudi.

- ❖ CAPÍTOL 4. ESTUDIS REALITZATS I ANÀLISI DE RESULTATS: Tot seguit s'ha procedit a realitzar la part pràctica de la tesina que consisteix en portar a terme quatre estudis independents, centrats en analitzar diferents condicionants que provoquen una variabilitat en la resistència al lliscament i mitjançant aquests estudis poder determinar la tendència d'aquest paràmetre estudiat amb el pas del temps.
- ❖ CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS: Finalment, s'han realitzat unes conclusions referents als diferents estudis executats cosa que ha permès obtenir resultats significatius en quan a l'evolució de la resistència al lliscament en funció dels factors incidents analitzats sobre aquesta.

Després dels diversos capítols que componen el treball, s'han mencionat les referències bibliogràfiques consultades i tot seguit s'han afegit els annexes corresponents del treball per tal de profunditzar més en aquest i així mostrar de forma més detallada els valors obtinguts en els estudis realitzats.

CAPÍTOL 2. PROPIETATS SUPERFICIALS D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC

2.1 MESCLÉS BITUMINOSOS

2.1.1 CONCEPTE I COMPOSICIÓ DE LES MESCLÉS BITUMINOSOS

Les mesclés bituminosos estan formades per una combinació d'àrids i lligants bituminosos els quals una vegada mesclats a altes temperatures formen una pel·lícula continua que envolta a les partícules minerals (grava, sorra i filler). Aquesta mescla és fabricada en centrals fixes o mòbils i posteriorment és transportada a l'obra per tal d'expandir-la i compactar-la. Un dels avantatges que presenten és que es poden estendre en espessors molt diversos i al mateix temps dotar-les de rigideses molt diverses cosa que permet poder-se adaptar a varies situacions estructurals depenen de la rigidesa necessària en cada cas. Per altra banda, un dels principals inconvenients que tenen és el deteriorament que pateixen degut, generalment, a la fatiga.

Degut a les característiques que posseeix el betum, les mesclés bituminoses tenen un comportament que depèn de la temperatura i la velocitat d'aplicació de les càrregues. Només en condicions en què les temperatures són baixes i la velocitat d'aplicació de les càrregues elevada es pot considerar que les mesclés bituminoses tenen un comportament elàstic i lineal. En aquest cas s'han estudiat les mesclés bituminoses en calent.

Per tant, les mesclés bituminoses es consideren un material compost per dues fases:

- **Sòlida:** Constituïda pels àrids i té l'efecte d'augmentar la viscositat i el fregament intern.
- **Gasosa:** Els buits de la mescla influeixen indirectament en les propietats d'aquesta. Depèn de les proporcions en què estiguin els dos elements anteriors així com del procés de fabricació i compactació de la mescla.

Actualment existeixen diferents classificacions de les mesclés bituminoses en funció del paràmetre que es consideri en cada cas. Tot seguit es mostra una taula on s'hi observa algunes de les classificacions que es tenen en compte i s'utilitzen a Espanya:

PROPIETAT	TIPUS DE MESCLA
FRACCIONS D'ÀRID UTILITZADES	Màstic
	Morter
	Macadam
	Formigó
TEMPERATURA EN L'OBRA	En fred
	En calent
% FORATS A LA MESCLA	Tancades ($h < 6$)
	Semitancades ($6 < h < 12$)
	Obertes ($h > 12$)
	Poroses ($h > 20$)
TAMANY DE L'ÀRID	Grosses ($t_{m\grave{a}x} > 8\text{mm}$)
	Fines ($t_{m\grave{a}x} < 8\text{mm}$)
ESTRUCTURA DE L'ÀRID	Amb esquelet mineral
	Sense esquelet mineral
GRANULOMETRIA	Continues
	Discontinues

Taula 2.1 – Classificació de les mescles bituminoses

2.1.2 FUNCIONALITAT DE LES MESCLES BITUMINOSES

Les mescles asfàltiques són empleades en la construcció de fermes ja sigui com a capes de rodadura o com a capes inferiors i la seva funció és principalment proporcionar una superfície de rodadura còmode, segura i econòmica als usuaris de les vies de comunicació facilitant la circulació als vehicles i poder transmetre les càrregues degudes al tràfic a l'explanada per tal de què puguin ser suportades per aquesta.

No s'entrarà en detall en el concepte de ferm però cal tenir en compte que es consideren dos aspectes fonamentals en el disseny d'un ferm:

- ❖ **Funció resistent:** Determina els materials i els espessors de les capes que s'hauran d'emplear en la seva construcció.
- ❖ **Finalitat:** Determina les condicions de textura i acabat que s'han d'exigir a les capes superiors del ferm per tal de què aquest proporcioni unes condicions adequades en quan a seguretat i comoditat. Aquestes capes superiors són les que reben el nom de paviment.

Tal i com s'ha comentat, les mescles asfàltiques serveixen per poder suportar directament les accions del pneumàtic i poder transmetre càrregues a capes inferiors proporcionant condicions adequades de rodadura quan són utilitzades en capes més superficials. D'altra banda, també poden ser empleades simplement com a material estructural i en aquest cas es caracteritzen de diferents formes.

El comportament de la mescla depèn de circumstàncies externes a ella com serien el temps d'aplicació de la càrrega i de la temperatura. Per tant, la seva caracterització i propietats han d'estar vinculades a aquests factors, temperatura i duració de la càrrega cosa que implica tenir un coneixement de la reologia del material.

Les qualitats funcionals d'un ferm es situen fonamentalment en la superfície. Per tant, alguns dels aspectes rellevants a tenir en compte en quan a les característiques superficials d'un ferm són els següents:

- Adherència del pneumàtic al ferm
- Projeccions d'aigua en temps de pluja
- Desgast dels pneumàtics
- Soroll en l'exterior i interior del vehicle
- Comoditat i estabilitat en marxa
- Càrregues dinàmiques del tràfic
- Resistència a la rodadura
- Envelliment dels vehicles
- Propietats òptiques

Aquests aspectes funcionals del ferm estan principalment associats a la textura i la regularitat superficial del paviment.

Resumint, una mescla asfàltica ha de posseir les següents propietats:

- Estabilitat
- Durabilitat
- Resistència a la fatiga

- Resistència al lliscament
- Regularitat
- Permeabilitat adequada
- Sonoritat



Propietats a afegir en cas de fer ús de la mescla asfàltica en capes de rodadura

2.1.3 PROPIETATS D'UNA MESCLA BITUMINOSA EN CAPES DE RODADURA

Degut a què no és possible projectar una mescla que satisfaci totes les propietats, per tal de què una mescla compleixi característiques tan funcionals com estructurals caldrà tenir en compte les qualitats dels materials constituents, la seva dosificació i les condicions de fabricació i posta en obra.

Tot seguit es mostra de forma resumida les propietats de major importància que presenten les mescles bituminoses:

A) ESTABILITAT : Consisteix en la capacitat de suportar les càrregues del tràfic i resistir les tensions provocades amb unes deformacions tolerables. És una propietat intrínseca de la mescla la qual depèn sobretot de la cohesió i del grau de fregament intern de les partícules.

La manca d'estabilitat provoca roderes longitudinals i ressals transversals en zones en les quals els esforços tangencials són elevats.

Aquests defectes es produeixen fonamentalment per l'acció de càrregues lentes o altes temperatures o bé per l'acció de càrregues alternatives que provoquen la fatiga del material.

B) RESISTÈNCIA A LA FATIGA: És la resistència a la ruptura a flexió sota càrregues repetides. També es defineix com a l'alteració degut a la deformació pels efectes de la repetició periòdica d'una sol·licitació inferior a la ruptura.

Factors que poden influir en la resistència a la fatiga de la mescla són:

- Porositat
- Envelliment del betum i baix contingut d'aquest
- Inadequada compactació de l'explanada
- Espessor insuficient de les capes

C) FLEXIBILITAT: Consisteix en la capacitat que té el paviment en poder-se adaptar a diversos moviments de l'estructura degut a assentaments de l'explanada o als efectes de dilatació i retracció tèrmica sense arribar a la fissuració o trencament.

D) RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT: La resistència al lliscament esdevé la capacitat d'una superfície per tal de resistir el lliscament de les rodes dels vehicles sobretot en condicions de paviment humit ja que en aquests casos el pneumàtic ha de mantenir el contacte amb el paviment i no rodar sobre la pel·lícula d'aigua.



Aquesta característica serà explicada amb major detall en apartats posteriors ja que esdevé la propietat protagonista d'anàlisi d'aquest projecte.

E) IMPERMEABILITAT: Consisteix en la resistència al pas de l'aire i l'aigua a través de la massa de la capa de la mescla bituminosa. És una propietat relacionada amb la compactabilitat de la mescla ja que una mescla que estigui mal compactada i tingui un baix contingut de betum facilitarà l'accés de l'aigua i l'aire al paviment.

Per tant, les capes superiors han de posseir una adequada impermeabilitat per tal de protegir correctament la infraestructura de la presència d'aigua. Tot i així, aquesta missió d'impermeabilització també es veu condicionada per les capes inferiors ja que si s'utilitzen mescles poroses o drenants la impermeabilitat ve imposada per les capes inferiors. A més a més, caldrà tenir un disseny adequat d'evacuació d'aigua de la superfície per tal de proporcionar una adequada i segura conducció als usuaris de les vies i al mateix temps evitar l'efecte de l'hidroplanneig.

F) DURABILITAT : La durabilitat esdevé la capacitat que té el paviment per resistir deterioraments superficials provocats per l'acció del tràfic o altres agressions externes com serien la radiació solar, l'oxidació produïda per l'aire i l'aigua, efecte de gelades...

L'envelliment es manifesta per exemple mitjançant l'aparició de microfissures. D'altra banda poden aparèixer defectes superficials com per exemple sots, superfícies aberrugades, peladures... També cal comentar que és molt important tenir el contingut de betum òptim ja que un excés en la quantitat d'aquest si que podria proporcionar una molt bona durabilitat però al mateix temps influiria en l'estabilitat de forma negativa provocant ondulacions i roderes.

En qualsevol cas, la duració d'una capa de rodadura correctament projectada i construïda hauria de ser superior a 10 anys.

En capes de rodadura, les mescles bituminoses presenten l'inconvenient de tenir una durabilitat sensiblement inferior a la vida útil d'un ferm. Aquest fet és degut a l'envelliment del lligant però en alguns casos es pot ocasionar per una inadequada

formulació de la mescla. Al mateix temps, la causa en podria ser la naturalesa del lligant o bé que la rigidesa de la mescla bituminosa varia amb la temperatura. [16]

G) TREBALLABILITAT: Aquesta propietat esdevé la facilitat que té una mescla en ser estesa i compactada. La treballabilitat depèn del tipus d'àrid i de la seva granulometria i el tipus i el percentatge de betum també poden afectar a aquesta propietat.

Tot seguit es mostren les principals propietats que un àrid ha de complir per tal de forma part d'una mescla bituminosa:

- Resistència a la compressió
- Granulometria
- Textura superficial
- Naturalesa mineralògica
- Compacitat
- Activitat superficial de les partícules

2.2 CARACTERÍSTIQUES SUPERFICIALS INFLUENTS EN L'ADHERÈNCIA PNEUMÀTIC-PAVIMENT

2.2.1 INTRODUCCIÓ

Les característiques d'un paviment es classifiquen per les dimensions de les irregularitats superficials. Per tal d'analitzar-les, s'estudia la seva mida (longitud d'ona i amplitud de les irregularitats) i si les característiques són globals (corresponen a un tram en concret) o localitzades (específiques d'una zona menor).

Des de un punt de vista general, la rodadura ha de ser còmode, segura, poc sorollosa, produir un desgast mínim en els vehicles i facilitar l'evacuació de l'aigua en la zona de contacte amb el pneumàtic. La geometria del paviment afecta a la seguretat, comoditat i costos dels usuaris.

Per tant, les característiques superficials que adquireixen una major importància en quan a proporcionar una adequada seguretat als usuaris són les següents [6]:

- Regularitat superficial
- Textura superficial
- Resistència al lliscament

2.2.2 REGULARITAT SUPERFICIAL

La presència d'aquestes irregularitats a la carretera afecten en la comoditat dels usuaris degut a les vibracions que es produeixen, al desgast dels vehicles i els efectes de les mercaderies transportades ja que provoquen un augment en el consum de combustible i influeixen en l'estabilitat dels vehicles. Aquest fet es manifesta amb una pèrdua de seguretat pels usuaris de les vies.

La regularitat superficial es valora mesurant la geometria longitudinal d'un camí i els defectes de la superfície de la carretera entre longituds d'ona compreses entre 0,5 i 50 metres [18].

S'han classificat aquestes irregularitat en tres classes d'ona depenen de la seva longitud i amplada:

- Ones curtes
- Ones mitges
- Ones llargues

Les diferents irregularitats exposades anteriorment estan relacionades amb diversos efectes com per exemple, a major velocitat del vehicle, major serà l'efecte de les irregularitat de gran longitud d'ona ja que influiran en l'estabilitat del vehicle i per tant en la comoditat dels usuaris.

Les ones curtes i mitjanes amb amplituds elevades poden ocasionar la pèrdua de contacte entre el paviment i el pneumàtic reduint la maniobrabilitat del vehicle i produint una oscil·lació de càrregues sobre les rodes que donarà lloc a càrregues dinàmiques que incrementaran el consum del combustible.

Per tant, resumint, la presència d'irregularitats a la carretera tan afectarà a la comoditat, seguretat com als costos dels vehicles que circulen per les vies.

2.2.3 TEXTURA SUPERFICIAL

La textura d'un paviment és un paràmetre que influeix directament en la capacitat del paviment per tal d'evacuar l'aigua de la interfase pneumàtic-paviment i de forma indirecte en el valor del coeficient de fregament del paviment el qual té una elevada importància en la obtenció d'una adequada adherència entre pneumàtic i paviment. D'altra banda, la textura és una característica determinant en quan al nivell de soroll del tràfic, tant del que perceben els ocupants dels vehicles com del soroll present en l'entorn.

En quan a l'aspecte econòmic, la textura del paviment influeix en el consum de gasolina, en el deteriorament dels vehicles i sobretot en el desgast dels pneumàtics. En general, la textura és un paràmetre que depèn de la desviació d'una superfície del paviment respecte un nivell de referència i depenent del rang de valors de la longitud d'ona de la textura analitzada, rep un nom diferent per tal de proporcionar una definició més concreta i detallada en cada cas. El funcionament del paviment està molt relacionat amb les característiques de textura que aquest proporciona. A més a més, la textura depèn del tipus de paviment empleat, ja que podem tenir els dos casos següents:

- **PAVIMENTS DE FORMIGÓ**: La textura és generada per les característiques del morter i el tractament d'aplicació sobre la superfície.
- **PAVIMENTS ASFÀLTICS**: La textura és generada per les característiques i l'exposició de diferents agregats sobre la superfície. Els paviments estudiats en aquesta tesina seran d'aquest tipus.

La capacitat de subministrar un bon nivell d'adherència amb els pneumàtics dels vehicles i evacuar aigua en la interfase pneumàtic-paviment esdevé una de les missions principal portades a terme per la textura.

Més endavant s'exposen els diferents tipus de textura que es poden trobar.

CARACTERÍSTIQUES QUE HA DE REUNIR LA TEXTURA

La textura superficial ha de complir els diferents requisits que s'exposen tot seguit:

- Ser homogènia en sentit longitudinal i transversal al sentit en què avancen els vehicles.
- A major valor de microtextura millor serà l'adherència entre el pneumàtic i la superfície. En cas de tenir un valor baix de microtextura tindrà lloc un major desgast dels pneumàtics.
- A major valor de macrotextura major serà la capacitat d'evacuació d'aigua en la interfase pneumàtic-paviment, és a dir, una eficaç capacitat de drenatge. D'altra banda això comporta un inconvenient ja que la presència de textures elevades són més sorolloses. Per tant, aquest fet de tenir un avantatge i inconvenient s'intenta solucionar utilitzant mescles poroses que degut al seu elevat contingut de forats i amb la seva alta macrotextura negativa, permet tenir una rodadura sense la formació d'una pel·lícula d'aigua en la superfície i a més a més és silenciosa. Tot i així, utilitzar aquest tipus de capes comporta un elevat cost, llarga duració i la dificultat de manteniment i rehabilitació.

Resumint tots els aspectes exposats anteriorment, la textura ha de ser:

- ❖ Elevada per permetre l'evacuació de l'aigua en la interfase pneumàtic-paviment.
- ❖ Petita per tal de proporcionar un menor nivell de soroll.
- ❖ Homogènia per tal que tota la superfície tingui la mateixa capacitat d'evacuació.

2.2.4 RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

La resistència al lliscament esdevé la fricció necessària a realitzar per tal d'evitar el lliscament del pneumàtic quan entra en contacte amb la capa de rodadura d'un paviment. És important tenir un control d'aquest paràmetre per tal d'evitar situacions de risc i reduir el nombre d'accidents degut a les males condicions del paviment.

Hi ha molts factors que influeixen directament en l'adherència pneumàtic-paviment apart dels exposats anteriorment relacionats amb la capes superficials, com per exemple les condicions climàtiques, el tipus d'àrid, característiques dels pneumàtics o bé la geometria de la via. A continuació es mostren algunes d'aquestes situacions esmentades.



Fig.2.1 – Situacions que afecten a la resistència al lliscament

La resistència al lliscament s'explica amb major detall en el capítol 3 ja que és el paràmetre objecte d'estudi en aquesta tesina.

2.3 TEXTURA SUPERFICIAL D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC

2.3.1 CLASSIFICACIÓ DEL TIPUS DE TEXTURA SUPERFICIAL

2.3.1.1 Microtextura

La microtextura consisteix en la desviació de la superfície del paviment mesurada sobre una longitud d'ona inferior a 0,5 mil·límetres en la horitzontal mentre que en la vertical és de l'ordre de 0,001 a 0,2 mil·límetres. Aquesta variació és degut a l'asperesa que presenten els àrids que componen la capa de rodadura del paviment, tot i que normalment és tan petita que no pot observar-se a simple vista. És important evitar un poliment molt elevat dels àrids ja que l'asperesa present en el paviment és la que proporcionarà l'adherència entre els pneumàtics i la capa de rodadura. Aquesta tendència dels àrids al poliment es calcula mitjançant assaigs al laboratori on s'obté el Coeficient de Poliment Accelerat (CPA).

La microtextura és la que proporciona el contacte directe entre el pneumàtic i el paviment i que, per tant, afecta a la capacitat de frenat i pot influir en quan al risc d'accidents. Aquesta és avaluada de forma indirecta mitjançant les auscultacions de la resistència al lliscament.

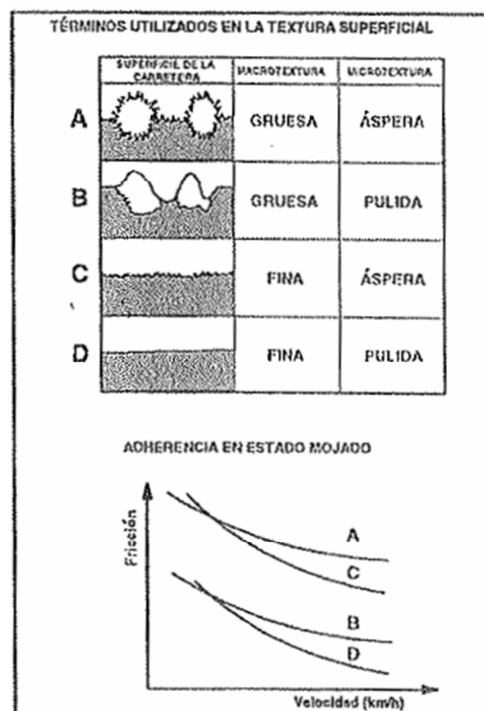


Fig.2.2 – Diferents tipus de textura superficial d'un paviment

2.3.1.2 Macrotextura

La macrotextura és la desviació de la superfície del paviment mesurada sobre una longitud d'ona en un interval comprès entre 0,5 i 50 mil·límetres mesurats en horitzontal i de l'ordre de 0,2 a 10 mil·límetres en la vertical. L'amplitud entre pics de



la macrotextura varia normalment entre 0,01 i 20 mm. És un tipus de textura que presenta longituds d'ona del mateix ordre que els dibuixos dels pneumàtics.

Aquesta variació és degut a la forma que adquireix la superfície conforme a la disposició dels àrids que sobresurten en la superfície de la capa de rodadura

Fig.2.3 – Exemple de macrotextura d'un paviment

d'un paviment. Aquesta afecta a la capacitat de frenat en presència d'aigua i en les emissions de soroll en el contacte pneumàtic-paviment.

A més a més, la macrotextura és significativa en l'evolució de l'estat de la capa de rodadura [11].

El paviment, un cop està realitzat, té un determinat valor de macrotextura però amb el seu ús i amb el pas del temps aquest valor inicial va disminuint fins arribar a un valor mínim. A partir d'aquest moment i degut a tot un procés de deteriorament en el qual els components de la capa de rodadura perden cohesió, la macrotextura experimenta un nou creixement de forma significativa. És necessària per tal d'obtenir una adequada resistència al lliscament a una velocitat de més de 60 km/h amb condicions de paviment moll.

Presenta una lleugera influència en el consum de combustible al augmentar la resistència a la rodadura però, per altra banda, es veu compensada per una disminució en la velocitat de circulació [16]. Proporciona una millora en la visibilitat i les propietats òptiques del paviment al reduir les projeccions d'aigua. Un drenatge més eficaç permet una millora en la visibilitat de les marques vials i una ràpida evacuació de l'aigua superficial.

En la figura 2.4, s'observa la diferència entre els conceptes de microtextura i macrotextura mentre que en la figura 2.5 es mostra una escala de valors de textura superficial on s'avalua la profunditat de textura relacionant-la amb la longitud d'ona i amb diferents aspectes de la interacció vehicle-paviment.

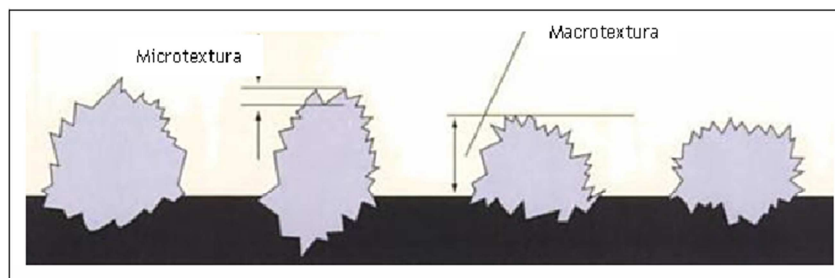


Fig.2.4 – Concepte de microtextura i macrotextura

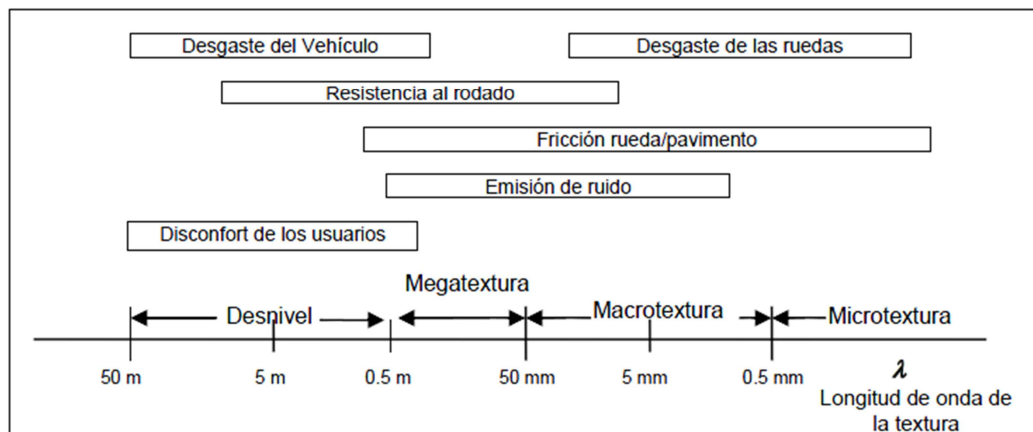


Fig.2.5 – Intervals de valors de textura en relació a la longitud d'ona i els seus efectes

Tal i com es pot observar en la figura 2.2, podem concloure que per tal d'obtenir una millor adherència, el més eficaç és disposar d'una microtextura àspera per tenir una millor resistència al lliscament i, al mateix temps, una macrotextura grossa que proporcionarà una bona evacuació de l'aigua.

✚ Per tal de poder obtenir una correcta i adequada resistència al lliscament, la textura ha de complir els següents requisits en relació als tipus existents comentats anteriorment:

- Tenir una adequada microtextura que contingui partícules dures i d'una elevada resistència al lliscament.
- Tenir una adequada macrotextura per tal de facilitar el drenatge i el desplaçament de l'aigua entre el pneumàtic i el paviment i d'aquesta manera permetrà assegurar resistència al lliscament a velocitats elevades i en condicions de paviment humit.

Cal comentar que s'estableix que la superfície d'una capa asfàltica haurà de presentar una textura homogènia, uniforme i evitar la presència de segregacions.

En quan a la macrotextura tenim la següent classificació:

- Macrotextura positiva
- Macrotextura negativa

MACROTEXTURA POSITIVA

Aquest tipus de macrotextura és la que s'obté a través dels tractaments superficials i provoca un augment en quan al soroll de rodadura segons les dimensions de les irregularitats.

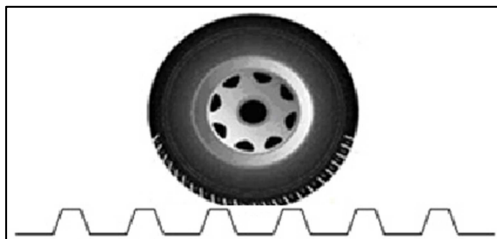


Fig.2.6 – Representació macrotextura positiva

MACROTEXTURA NEGATIVA

Aquest tipus de macrotextura es presenta en paviments porosos i en microaglomerats de granulometria discontinua. Pot disminuir sensiblement el nivell de soroll i no sols el soroll degut al contacte entre el pneumàtic i paviment sinó també per absorció acústica degut als elements mecànics del vehicle.

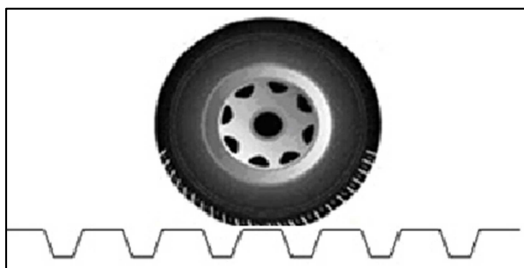


Fig.2.7 – Representació macrotextura negativa

2.3.1.3 Megatextura

La megatextura d'un paviment correspon a les irregularitats de tipus intermedi i és la desviació que presenta la superfície respecte una superfície plana de dimensions en sentit longitudinal entre 50 i 500 mm. L'amplitud entre pics sol variar entre 0,1 i 50 mm. És un tipus de textura que presenta longituds d'ona del mateix ordre que el pneumàtic en contacte amb el paviment. La megatextura afecta a la fricció i al soroll i està relacionada amb la textura final i amb la possible presència de falles o degradacions i les seves reparacions.

La presència d'aquestes irregularitats provoca un augment de la resistència a la rodadura i en el nivell de soroll amb freqüències baixes. La conducció esdevé més

incòmode amb vibracions i presenta dificultats per mantenir l'estabilitat de la marxa. Al mateix temps, tenen lloc despeses en quan a la conservació de la via i un desgast dels vehicles, incloent els pneumàtics, i això implica una reducció en quan a la seguretat dels usuaris [12].

Tot seguit es mostra una taula resum amb els diferents tipus de textura existents amb els seus valors de longitud d'ona i freqüència corresponents.

TEXTURA	LONGITUD D'ONA (mm)	FREQÜÈNCIA (mm)
Megatextura	50 - 500	0.1 - 50
Macrotextura	0.5 - 50	0.01 - 20
Microtextura	0 - 0.5	0.001 - 0.5

Taula.2.2 – Caracterització dels tipus de textura d'un paviment

Al mateix temps, segons la AIPCR (Comitè Tècnic de Característiques Superficials de l'Associació Mundial de Carreteres) la textura es classifica segons el següent gràfic adjunt.

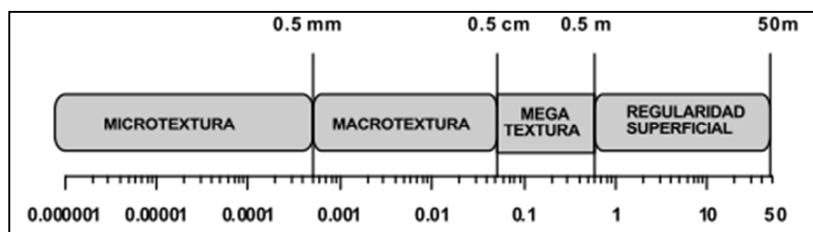


Fig.2.8 – Classificació de la textura segons la AIPCR

Tot seguit, s'esquematitzen les característiques geomètriques de la textura amb major detall destacant les principals diferències entre els diferents tipus existents [17].

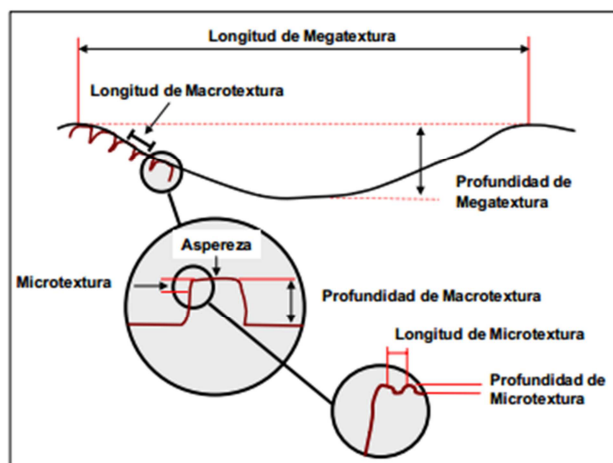


Fig.2.9 – Esquematització dels tipus de textura

2.3.2 CARACTERÍSTIQUES DEL FREGAMENT SEGONS LA SEVA MACROTEXTURA

- ❖ Macrotextura oberta – Microtextura àspera: Quan la superfície està seca, la pèrdua d'energia per adherència és inferior que si la superfície fos humida però es veu compensat per l'augment de resistència per deformació. Quan la carretera està molla, el fet de tenir una microtextura àspera permet evitar situacions com l'hidroplanneig viscós mentre que la macrotextura oberta evita l'hidroplanneig dinàmic fins a un determinat gruix de la capa d'aigua.
- ❖ Macrotextura tancada – Microtextura llisa: Quan la superfície està en condicions seques proporciona valors del coeficient de fregament molt alts. D'altra banda, quan es troba humida el coeficient de fregament és molt baix independentment de si les velocitats són baixes o altes.
- ❖ Macrotextura tancada – Microtextura àspera: Quan la superfície és seca, els valors del coeficient de fregament són lleugerament inferiors als del cas anterior.

Per una carretera amb alta intensitat de tràfic i elevada velocitat, la macrotextura és un paràmetre fonamental per tal de millorar la seguretat vial d'aquesta [20]. La macrotextura d'un paviment pot ser grossa o fina i s'ha de buscar la combinació òptima amb la microtextura per proporcionar comoditat i seguretat als usuaris.

A continuació es mostra diferents tipus de macrotextura en funció de la seva rugositat i poliment possible [19].

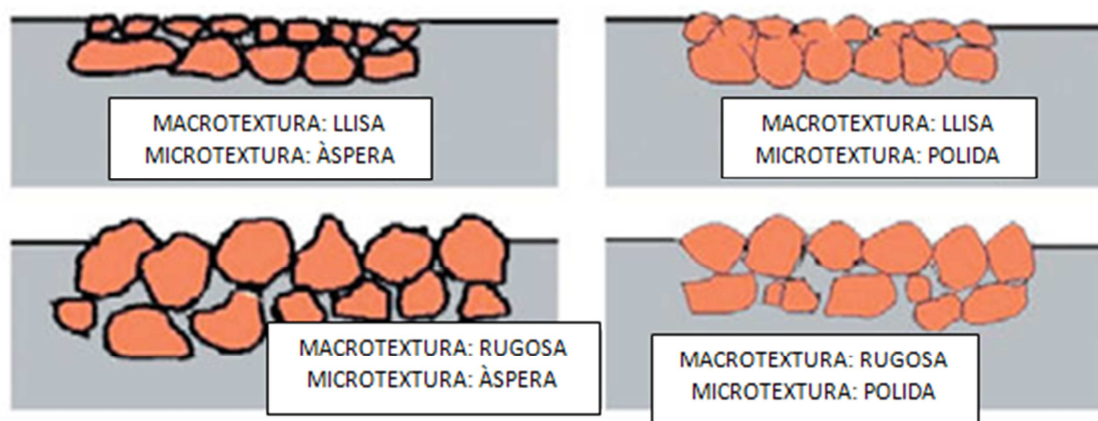


Fig.2.10 – Representació dels tipus de microtextura i macrotextura

En resum, cal comentar que: **la microtextura influeix en la fricció i la macrotextura en la capacitat d'evacuar aigua ràpidament, impedit o dificultant els fenòmens d'hidroplanneig.**

2.3.3 MESURA I EVALUACIÓ DE LA TEXTURA

La textura superficial depèn tant de la distribució i mida dels agregats de la superfície del paviment com del material que envolta aquests agregats [10]. Les tècniques de mesura normalitzades que tenen en compte el què s'acaba de comentar, s'agrupen de la següent forma:

- Tècniques volumètriques: Determinació d'un volum associat a una àrea i a una altura. L'assaig més conegut d'aquest tipus és l'assaig del cercle de sorra que s'explicarà a continuació.
- Tècniques perfilomètriques: Determinació de la geometria del perfil o la superfície. En aquest cas els més utilitzats són el Circular Track Meter (CTmeter) i el Laser Texture Scanner (LTS).

2.3.3.1 Cercle de sorra

El mètode del cercle de sorra és un procediment que consisteix en aplicar un volum conegut d'un material granular i uniforme sobre la superfície de manera que cobreixi totes les irregularitats presents en el paviment i posteriorment calcular la profunditat de textura a partir de la mesura del diàmetre mig format pel material escampat anteriorment [18]. El material empleat normalment en aquest assaig és sorra tot i que actualment acostuma a ser substituït per esferes de vidre.

Aquesta tècnica permet determinar mesures puntuals de la macrotextura (rugosa o llisa). És un mètode que proporciona un valor, el qual es coneix com a la Profunditat de Textura Mitja (*Mean Texture Depth, MTD*). Aquest valor és independent de les característiques que presenta la microtextura del paviment i l'expressió amb la qual es calcula aquesta profunditat coneguda com MTD és volum dividit per l'àrea del material escampat.

Aquest assaig és útil per valors de textura superiors a 0,25 mm i s'ha de portar a terme en condicions de paviment sec i net i en dies sense vent per tal que es pugui realitzar en unes condicions òptimes. Es tracta d'un assaig normalitzat en la major part dels països i és un dels pocs que es realitza tant en el continent europeu com a Estats Units. En concret a Espanya es descriu en la Norma NLT-335/87.

La utilització de tècniques volumètriques proporciona resultats subjectius i amb variabilitat ja que depenen de la forma en què s'escampa i es mesura el diàmetre de la sorra i del operari que realitza aquest procediment, es poden obtenir uns resultats o uns altres. A més a més, és un procediment lent en el moment de portar-se a terme i es necessita la presència de dues persones i si es realitza en una carretera oberta cal tallar el tràfic.

A la dreta es mostra un esquema de l'assaig del cercle de sorra comentat.

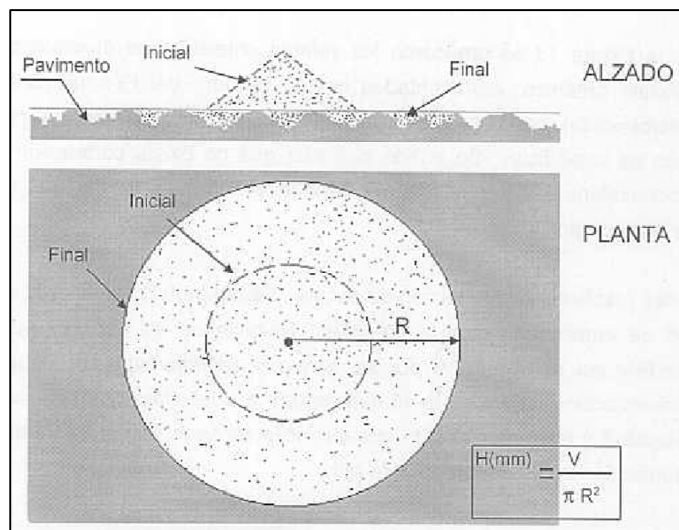


Fig.2.11 – Esquema de l'assaig del cercle de sorra

2.3.3.2 Equip Circular Texture Meter (CTMeter)

L'equip Circular Texture Meter consisteix en un perfilòmetre que permet mesurar la macrotextura de paviments. Porta un sensor làser que recorre una circumferència de 142mm de radi el qual es troba situat a uns 30mm de la superfície. Aquest aparell tarda aproximadament uns 45 segons en mesurar tota la circumferència i el resultat que proporciona és un perfil amb 1024 punts en intervals de 0.87mm.

En aquest cas la norma ASTM E-2157 permet relacionar la profunditat mitja del perfil (MPD) i la profunditat de textura mitja (MTD) mitjançant la següent fórmula:

$$MTD = 0.947 \cdot MPD + 0.069$$

Tot seguit es mostra l'equip CTM mentre es realitzen les mesures i una segona imatge on s'observa el mateix equip vist en planta des de sota.

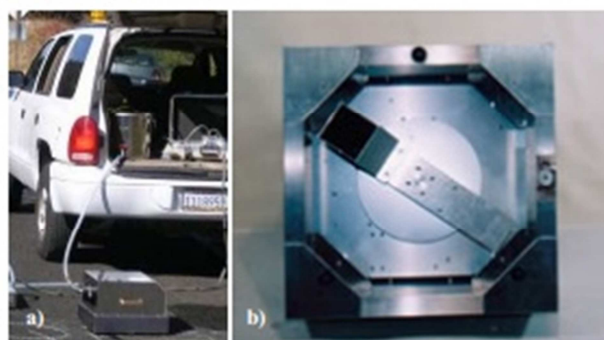


Fig.2.12 – Circular Texture Meter (CTM)

2.3.3.3 Equip LTS (Làser Texture Scanner)

Per tal de caracteritzar la textura d'un paviment s'utilitzen procediments i equips els quals tenen característiques especificades per la norma ISO 13473-1 [25]. Aquesta norma descriu un mètode d'assaig que permet determinar la profunditat mitja de la macrotextura (MPD) de la superfície del paviment. Consisteix en mesurar la corba del perfil d'una superfície i calcular la profunditat de la textura a partir d'aquest perfil. Es considera insensible a la microtextura i a les característiques d'irregularitats presents en el paviment i permet ser una alternativa de la tècnica del cercle de sorra explicada anteriorment.

Aquest equip permet mesurar una superfície a diferència de l'equip anterior ja que el sensor làser recórrer un número predeterminat de línies en una àrea màxima de 75 per 100mm. La distància del sensor làser a la superfície del paviment és de 42mm. A més a més, un receptor GPS permet registrar les coordenades de posicionament global de cada una de les mesures realitzades.

És un equip molt més portàtil gràcies al seu lleuger pes a diferència d l'equip CTM i permet realitzar mesures tan a peu de carretera com en laboratoris.

Aquest mètode per tal de caracteritzar la textura es pot usar per avaluar la qualitat dels paviments. A la dreta, es mostra de forma gràfica la descripció per tal d'obtenir l'índex MPD i a sota l'equip estàtic de mesura de la textura.

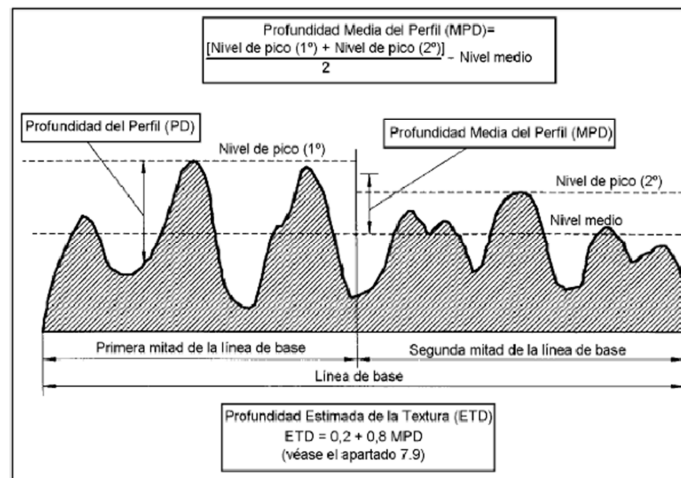


Fig.2.13 – Descripció gràfica pel càlcul de la MPD

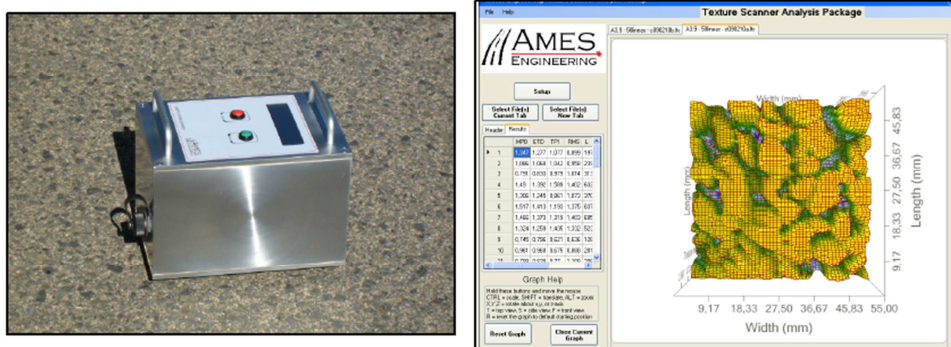


Fig.2.14 – Equip estàtic de mesura de la textura

CAPÍTOL 3. CARACTERITZACIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

3.1 INTRODUCCIÓ

La resistència al lliscament o fricció és la força que té lloc entre la superfície del paviment i els pneumàtics [23]. La mesura d'aquest paràmetre és fonamental en carreteres d'elevada intensitat de tràfic. Aquesta fricció es determina de forma indirecta mesurant el coeficient de fregament entre el paviment el qual es mulla artificialment i una roda de goma especial (procediment que serà explicat en posteriors apartats). D'altra banda també es pot considerar que és una forma indirecta de mesurar la part més fina de la textura, és a dir, la microtextura.

Una de les principals característiques que ha de complir un paviment per tal d'assegurar una seguretat als usuaris, consisteix en disposar d'una superfície que garanteixi una bona adherència amb els pneumàtics, especialment en zones de frenat, corbes i quan el paviment es troba en condicions humides. Per tant, com ja s'ha comentat, l'adherència dels pneumàtics amb la carretera esdevé una de les característiques superficials del paviment amb una influència important en la seguretat dels conductors ja que permet:

- Reducció en la distància de frenat.
- Manteniment de la trajectòria desitjada del vehicle en tot moment.

Una via ha de proporcionar al usuari seguretat i comoditat. No existeix cap sistema de mesura que indiqui el grau de seguretat que posseeix una via ja que els factors relacionats amb la seguretat d'una calçada són varis com podrien ser: velocitat de circulació, estat dels pneumàtics del vehicle, característiques geomètriques i textura de la capa de rodadura, a més a més de condicions climàtiques i del propi conductor.

Cal comentar que la seguretat en la conducció presenta una importància social i econòmica degut als costos d'un accident de trànsit en el cas de tenir una mala adherència en el paviment.

La fricció involucra dos elements:

- Pneumàtic
- Paviment

3.2 CARACTERÍSTIQUES DE LA FRICCIÓ

Cal tenir presents els següents aspectes relacionats amb la fricció dels pneumàtics al paviment de la carretera:

- La fricció és suficient quan la superfície es troba en condicions seques.
- En un paviment humit, l'aigua actua com a lubricant reduint el contacte directe pneumàtic-superfície.
- En casos en què la pel·lícula d'aigua esdevé molt espessa o la velocitat del vehicle molt alta, els pneumàtics poden perdre contacte amb la superfície i produir-se el fenomen conegut amb el nom de hidroplanneig, el qual s'explica tot seguit.

❖ FENÒMEN D'HIDROPLANNEIG

L'hidroplanneig esdevé un dels fenòmens més importants relacionats amb l'adherència del paviment que consisteix en la presència d'aigua al paviment amb una profunditat que es podria considerar crítica [13]. Per tant, el risc d'una carretera de patir aquest fenomen ve condicionat per la presència de profunditats en la carretera que poden ser degut a inundacions o pluges intenses i repetides.

Aquest risc es determina estudiant la topografia del paviment: la geometria, el peralt i la macrotextura que determinen la capacitat del paviment en evacuar l'aigua. L'espessor d'aquesta pel·lícula d'aigua formada és funció directa de la quantitat d'aigua, intensitat i duració de la precipitació e inversa de la capacitat de drenatge del paviment.

Per tant, l'hidroplanneig és la separació entre el pneumàtic i el paviment degut a la pressió d'aigua existent sota la roda.



Fig.3.1 – Fenomen d'hidroplanneig

En condicions de paviment sec, la superfície de contacte entre el pneumàtic i el paviment és molt superior que si hi ha la presència d'aigua.

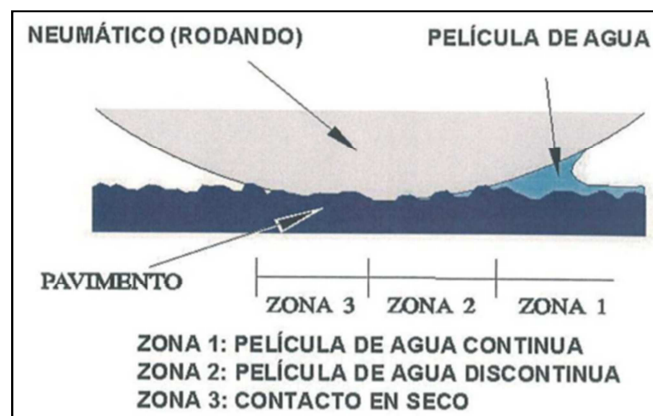


Fig.3.2 – Contacte pneumàtic-paviment amb presència d'aigua

En la imatge superior es poden observar varies zones que es comenten tot seguit:

ZONA 1: En aquesta zona l'aigua s'evacua progressivament pels dibuixos de la goma i per la macrotextura del paviment. En aquest cas la fricció és pràcticament nul·la degut a la presència de l'aigua.

ZONA 2: En aquest cas, una quantitat d'aigua queda per evacuar i el pneumàtic comença a entrar en contacte amb les irregularitats del paviment.

ZONA 3: En aquesta zona el paviment està sec i per tant es pot desenvolupar una adequada adherència. És la zona que ens proporciona la major capacitat d'adherència i per tant una millor resistència al lliscament.

Si l'espessor d'aigua present en la calçada augmenta, augmentarà la quantitat d'aigua en la zona 1 i per tant la superfície de contacte en la zona 3 tampoc aportarà la resistència al lliscament necessària.

Per tal de què l'aigua sigui eliminada amb major rapidesa que la que es veu eliminada pels dibuixos del pneumàtic, es requereix d'una macrotextura gran ja que si es va acumulant cada vegada més aigua tindria lloc el fenomen d'hidroplanneig comentat anteriorment, el qual interessa evitar.

Els principals factors de la superfície del paviment que proporcionen fricció són la microtextura i la macrotextura, les quals ja han estat explicats.

La fricció està formada per dos components:

Adhesió i histèresis.

- **ADHESIÓ:** Aquesta component correspon al resultat de les forces moleculars en la interfase pneumàtic-paviment i la magnitud d'aquestes forces depèn de la naturalesa d'ambdós materials i de la força que es crea entre ells.
- **HISTÈRESIS:** Aquesta és funció de la pèrdua d'energia en el pneumàtic a mesura que aquest pateix deformacions degut a la textura superficial del paviment.

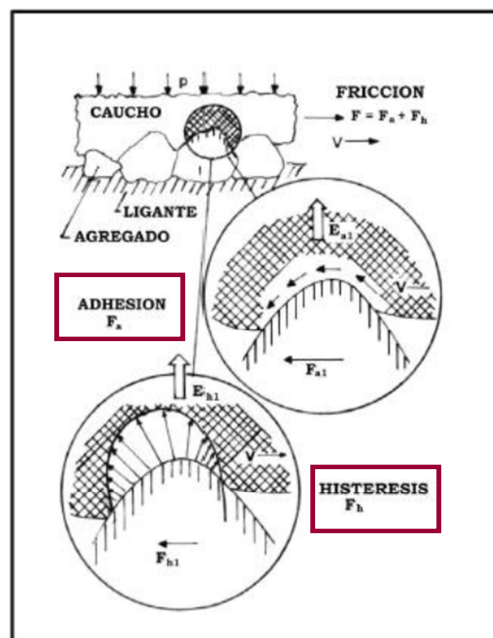


Fig.3.3 – Representació de l'adhesió i l'histèresis

Per tal d'augmentar l'adherència per adhesió, és necessari disposar d'una bona microtextura, mentre que per tenir una millor adherència per histèresis, cal disposar d'una correcta macrotextura com s'exposa en la següent imatge [22]:

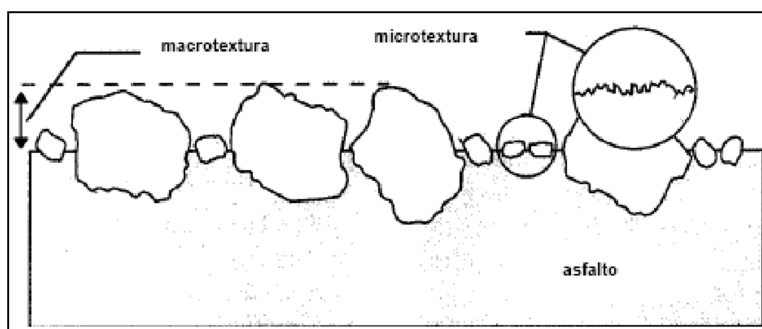


Fig.3.4 – Relació dels tipus de textura amb les components de la fricció

3.3 PROPIETATS DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL

El coeficient de fregament és el paràmetre que s'utilitza per determinar el nivell d'adherència entre el pneumàtic i el paviment [6]. Aquest valor depèn d'una sèrie de factors, alguns inherents a la carretera i d'altres responsabilitat de l'usuari (com la velocitat i l'estat dels pneumàtics del vehicle) o la naturalesa (pluja, neu, etc.).

Al igual que altres característiques superficials, el nivell d'adherència d'un paviment evoluciona amb el temps degut al poliment de la superfície per l'acció dels pneumàtics dels vehicles. És per aquest motiu que s'ha de comprovar periòdicament la resistència al lliscament mitjançant tècniques d'auscultació utilitzant equips especialitzats per tal de determinar-ne el coeficient de fregament abans comentat. Els equips empleats realitzen els assaigs sempre sobre superfície molla (aigua per diposita sobre el paviment el mateix equip) i a una velocitat constant per tal de comparar la variació de fregament al llarg de la carretera. Aquests equips seran explicats detalladament en posteriors apartats.

La pèrdua de la capacitat d'adherència del paviment constitueix un factor de risc que afecta a la seguretat del trànsit. La resistència al lliscament està directament relacionada amb el coeficient de fregament transversal del paviment ja que aquesta és producte d'aquest coeficient per la força normal que actua sobre el paviment.

Els valors de fregament que es necessiten depenen de diverses circumstàncies com poden ser el pendent, la longitud del tram en pendent, la probabilitat de produir-se situacions de frenat, traçats molt sinuosos, trams d'elevada velocitat...Per tant, és difícil poder establir especificacions en quan als valors de coeficient de fregament transversal degut a les variades situacions que podem tenir.

S'han realitzat algunes recomanacions fixant uns umbrals mínims o d'actuació necessària que es mostren en la següent taula:

CRT < 35	35 < CRT < 50	CRT > 50
INADEQUAT	SEGUIMENT ESPECIAL	GENERALMENT ADEQUAT

Taula 3.1 – Valors mínims del coeficient de fregament transversal

La resistència al lliscament hauria de ser suficient per tal que els conductors poguessin realitzar les maniobres amb tota normalitat sense que els vehicles llisquessin. Tot i així, seria possible conduir encara que les rodes llisquessin però pocs conductors no

professionals serien capaços de realitzar aquesta maniobra sense provocar cap situació perillosa.

Per tal d'aconseguir una circulació còmode i segura al llarg de la carretera cal que la relació entre les forces horitzontals i verticals en cada una de les rodes no superi el valor del coeficient de fregament transversal entre pneumàtic i ferm. El fet de conèixer aquest valor és essencial per realitzar les operacions d'explotació i conservació d'una carretera. El coneixement dels factors que determinarà el valor permetrà posteriorment escollir el tipus de pneumàtic i paviment més adequat en cada una de les possibles situacions.

Probablement el mètode més racional per tal de determinar els valors acceptables de la resistència al lliscament sigui el de relacionar els índex d'accidents registrats en diferents trams amb els coeficients de resistència al lliscament mig dels mateixos. S'han d'estudiar els accidents en trams en els quals la calçada estigui humida ja que quan el paviment és sec no provoca problemes de lliscament. S'han realitzat varis estudis d'aquest estil a Gran Bretanya i s'ha pogut deduir que el risc de què tinguin lloc accidents degut al lliscament en una zona de la carretera augmenta ràpidament quan el coeficient de fregament transversal a una velocitat de 50 km/h és menor a 40 mentre que aquest paràmetre és inferior quan el coeficient de fregament transversal és de 50. També cal dir que en zones de corbes en les quals el radi és petit, el risc de produir-se accidents també serà major que en el cas de tenir trams rectes.

Tot seguit es descriuen els valors mínims del coeficient de fregament transversal proposats per el comitè Marshall de Gran Bretanya:

- **Trams molt difícils:** Velocitat de mesura = 50km/h → **CRT = 55**
 En aquest grup s'inclouria les següents zones:
 - Glorietes
 - Corbes amb radi de curvatura inferior a 150m en carreteres sense limitació de velocitat.
 - Pendents iguals o superiors al 5% i més de 100m de longitud
 - Accessos a interseccions amb semàfors en vies sense limitació de velocitat.
- **Tram de tipus mig:**
 - Autopistes i altres carreteres d'alta velocitat
 Velocitat de mesura = 80 km → **CRT = 45**
 - Carreteres principals i vies urbanes amb és de 2000 vehicles/dia
 Velocitat de mesura = 50km/h → **CRT = 50**

- **Altres trams:** Velocitat de mesura = 50km/h → **CRT = 40**

En aquest grup s'inclouria les següents zones:

- Carreteres generalment rectes, amb pendents i corbes suaus, sense interseccions i lliures de factors que puguin provocar situacions d'emergència.

Existeixen dos tipus de coeficients de fricció:

- Coeficient de fricció longitudinal
- Coeficient de fricció transversal

COEFICIENT DE FRICCIÓ LONGITUDINAL

Aquest coeficient es determina mitjançant equips els quals tenen una roda que llisca sobre el paviment en sentit longitudinal però a una velocitat de rotació menor que la de rodadura amb la qual cosa genera una força de fricció entre la roda i el paviment asfàltic. Alguns dels equips més coneguts que mesuren aquest coeficient de fregament longitudinal són: Trailer ASTM d'Estats Units i el GRIPTESTER de Gran Bretanya.

COEFICIENT DE FRICCIÓ TRANSVERSAL

En aquest cas l'equip de mesura del coeficient de fregament té una roda que llisca sobre el paviment asfàltic com el cas anterior però aquesta té una inclinació respecte la direcció de circulació i que per tant provoca una força de reacció transversal.

Alguns dels equips més coneguts en aquest cas són SCRIM i el MuMeter els quals s'han desenrotllat a la Gran Bretanya. El primer dels dos equips anomenats és el que s'ha utilitzat per tal d'obtenir totes les dades presents en aquest projecte.

3.4 COMPORTAMENT DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

El comportament de la resistència al lliscament s'idealitza com un procés aleatori en el qual hi intervenen dues components:

- **Component tendencial:** En aquest procés hi té lloc una caiguda del valor de la resistència al lliscament des de el moment en què es permet la circulació per la carretera fins establir-se (Diringer i Barros, 1990). Quan s'arriba aquesta estabilització, que rep el nom d'estat d'equilibri, la resistència al lliscament sols es veu afectada per la oscil·lació estacional.

- **Component oscil·latòria:** Aquesta component permet descriure les variacions estacionals en el valor de la resistència al lliscament (aquestes variacions es podran comprovar en el primer dels estudis portats a terme en aquest treball).

Per tant, la resistència al lliscament es pot representar a través de la superposició de les components tendencial i oscil·latòria del procés. Es considera que es tracta d'un període transient i permanent i Skerrit (1994) va anomenar aquests dos períodes com a fase de poliment i equilibri.

En la imatge inferior es mostra tot el procés explicant anteriorment on inicialment es troba una primera fase de poliment en la qual hi ha la degradació de la superfície, mentre que en la fase d'equilibri el valor de la resistència al lliscament s'estabilitza i només es veu afectada per les variacions estacionals.

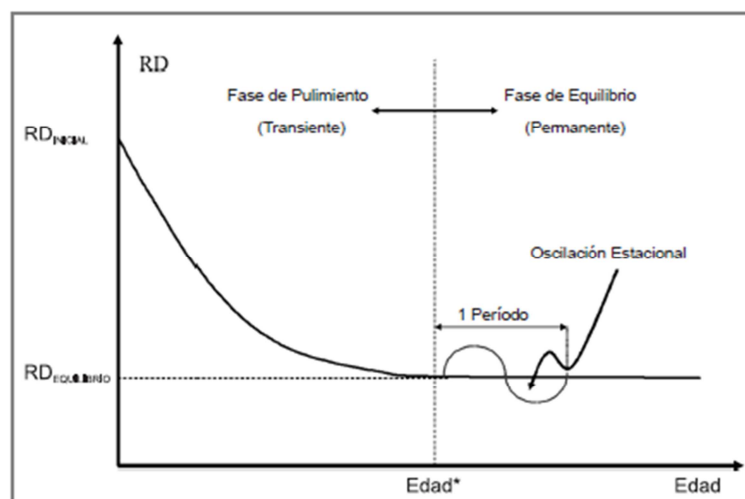


Fig.3.5 – Procés evolutiu del coeficient de fregament transversal

➤ **FASE DE POLIMENT**

En els primers anys en què una carretera es posa en servei, té lloc un procés de poliment dels agregats que comportarà una pèrdua de la microtextura. Aquesta pèrdua serà degut a dues causes:

- Poliment
- Abrasió

Tot i així, les forces horitzontals portades a terme pels pneumàtics dels vehicles poden fracturar la superfície dels agregats i permetre un nou augment de la microtextura. Aquest fet es pot manifestar com un procés en el qual es va guanyant i perdent tant la macrotextura com la microtextura d'un paviment.

Perdre microtextura d'un paviment redueix la quantitat de punts de contacte entre el pneumàtic i el paviment i per tant comportarà una pèrdua d'adherència i de resistència al lliscament. Depenen de les característiques dels àrids la pèrdua de la microtextura pot tenir lloc abans o després.

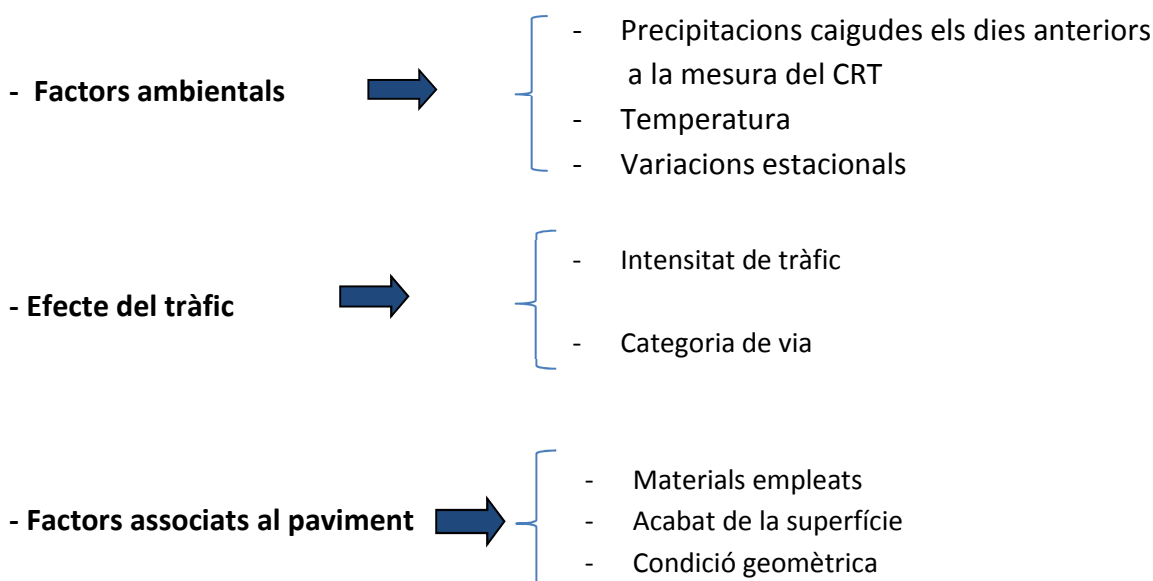
Aquesta fase ha estat estudiada en laboratoris mitjançant diferents assaigs els quals han pogut demostrar que el procés de poliment realment segueix una llei de caiguda exponencial tal i com es mostra en la imatge representada.

➤ **FASE D'EQUILIBRI**

En aquesta fase el poliment dels agregats es veu estabilitzat de manera que la resistència al lliscament resultant correspon al valor mínim que adquireix la superfície d'un paviment. Aquest valor mínim s'anomena Resistència al Lliscament d'Equilibri (Diringer i Barros, 1990). En aquesta fase el valor de la resistència al lliscament es veurà modificada pel canvi d'estacionalitat proporcionant valors màxims en èpoques amb temperatures baixes mentre que el valor de la resistència al lliscament serà menor en els períodes amb elevades temperatures, fet que es demostra numèricament en el primer dels estudis portats a terme en aquest projecte.

3.5 FACTORS INFLUENTS EN L'ADHERÈNCIA PNEUMÀTIC-PAVIMENT

La resistència al lliscament no és constant i per tant es veu influenciada per varis factors els quals provoquen una certa variabilitat en el comportament d'aquesta resistència en un paviment asfàltic [15]. Aquests factors es poden agrupar de la següent forma:



3.5.1 FACTORS AMBIENTALS

3.5.1.1 Precipitacions caigudes els dies anteriors a la mesura del CRT

Les precipitacions caigudes els dies anteriors a la mesura del coeficient de fregament transversal provoquen variacions en quan als resultats de la resistència al lliscament d'un tram d'estudi.

En aquest cas el procediment que té lloc és el següent:

Quan comença a ploure després d'un període de sequedat, es van dipositant sobre el paviment partícules de pols, grassa, etc. Degut a aquest fet, el ferm va adquirint un comportament més lliscant per l'efecte d'aquesta brutícia que s'ha anat dipositant sobre la superfície de la calçada. Posteriorment, i degut a la pluja i al tràfic que va circulant per la carretera, el paviment es va netejant però es mantenen valors de la resistència al lliscament més baixos que si el paviment fos sec. Una vegada el paviment s'asseca, el seu coeficient de fregament transversal ascendeix podent adquirir valors més alts que els que existien abans de què tinguessin lloc les precipitacions.

Aquest augment del valor de la resistència al lliscament dependrà de certs factors com els que s'exposen tot seguit:

- Estat de brutícia del paviment abans d'iniciar-se la pluja.
- Duració de la pluja.
- Intensitat de la pluja.
- Tràfic circulant per la calçada per tal de netejar la brutícia dipositada inicialment.

Un estudi realitzat a Nova Zelanda, va demostrar que el valor de la resistència al lliscament disminueix a mesura que es van acumulant dies sense precipitació sobre la superfície del paviment.

Tot i així, un estudi sobre la variació de la resistència al lliscament en funció de les precipitacions caigudes els dies anteriors a la mesura demostra que el valor d'aquesta resistència no sols es veu afectat per la quantitat de pluja sinó també pels quatre factors exposats anteriorment.



Fig.3.6 – Condicions del paviment per l'efecte de la pluja

Tot i la presència d'aquests altres factors que poden condicionar el resultat de la resistència al lliscament, en diversos estudis portats a terme s'ha demostrat que existeix una relació significativa en les variacions de la resistència al lliscament tenint en compte la precipitació caiguda durant els dies anteriors a la mesura del CRT.

✚ En els estudis portats a terme en aquest projecte (capítol 4) en varies ocasions s'ha fet referència a la pluviometria ja que esdevé un dels condicionants principals en la variabilitat existent en el coeficient de fregament transversal.

3.5.1.2 Temperatura

La temperatura és un dels factors que suposadament influeix en la resistència al lliscament d'un paviment asfàltic. Dic suposadament, ja que a dia d'avui, molts investigadors intenten quantificar l'efecte de la temperatura sobre un paviment i el resultat segueix sense està clar.

S'han portat a terme diferents estudis on els quatre elements que estan relacionats amb l'adherència pneumàtic-paviment (aire, aigua, pneumàtic i paviment) afecten a la resistència al lliscament [7]. Els resultats d'alguns dels investigadors són els següents:

- Runkle and Mahone (1980): va trobar que la temperatura de l'aigua i la temperatura del paviment estaven altament relacionats.
- Hill and Henry (1982): va estudiar la relació entre la temperatura de l'aire, del paviment i del pneumàtic i va concloure que les tres estaven relacionades mitjançant les següents equacions:

$$T_t = 8.54 + 0.810 \cdot T_A \cdot (R^2 = 0.83)$$

$$T_t = 6.78 + 0.558 \cdot T_p \cdot (R^2 = 0.76)$$

$$T_A = 0.87 + 0.573 \cdot T_p \cdot (R^2 = 0.80)$$

On els paràmetres són:

T_t : Temperatura del pneumàtic (°C)

T_p : Temperatura del paviment (°C)

T_A : Temperatura ambient (°C)

1. TEMPERATURA DE L'AIRE

Molts investigadors han estudiat l'efecte de la temperatura de l'aire en diversos llocs i han obtingut significants resultats en quan aquest paràmetre sobre la resistència al lliscament. Aquests estudis van ser portats a terme a Texas per Jayawickrama i Thomas (1997), Virginia per Runkle i Mahone (1980) i a New York i Pennsylvania per Anderson (1984). El primer dels investigadors esmentats, va dir que la variació en la temperatura no afecta a la resistència al lliscament però sí que adquireix un paper important en quan a les propietats friccionals del pneumàtic.

2. TEMPERATURA DEL PNEUMÀTIC

Els investigadors Kummer i Meyer van trobar que la fricció disminueix quan les temperatures són elevades. Aquesta disminució del coeficient de fregament transversal pot ser degut a l'augment de la temperatura del pneumàtic.

Oliver (1989) va investigar a Austràlia l'efecte de la temperatura del pneumàtic i va poder demostrar que aquesta temperatura és proporcional a la temperatura de l'aire i del paviment mitjançant la següent expressió:

$$SFC_t/SFC_{25} = 0.563 + 45.9/(t+80) \quad (R_2 = 0.83)$$

$$t = 12.3 + 0.48 \cdot (T_a + T_p)$$

On els paràmetres són:

SFC_t : coeficient de força lateral de l'SCRIM.

t : Temperatura del pneumàtic (°C)

T_a : Temperatura de l'aire (°C)

T_p : Temperatura del paviment (°C)

3. TEMPERATURA DEL PAVIMENT

La investigació sobre l'efecte de la temperatura del paviment en la resistència al lliscament ha comportat una gran variabilitat de resultats. Dahir (1979) va trobar que la resistència al lliscament disminuïa a mesura que la temperatura del paviment augmentava.

Per tant, com s'ha esmentat anteriorment, a dia d'avui existeixen diverses hipòtesis en quan a l'efecte de la temperatura en la resistència al lliscament i no s'ha pogut obtenir

cap conclusió significativa en relació aquest tema. Tot i així, en el capítol 4 del treball s'ha realitzat un breu estudi sobre la temperatura en uns trams de carretera per tal de veure si es podia aconseguir una correlació entre la temperatura i la resistència al lliscament.

3.5.1.3 Variacions estacionals

Els valors de la resistència al lliscament d'un paviment asfàltic presenten una variabilitat en funció de l'època de l'any en la qual ens trobem. Els cicles anuals de temperatura provoquen que en la major part de les zones climàtiques, tingui lloc unes fluctuacions en quan al valor de la resistència al lliscament que presentarà valors màxims a l'hivern i mínims a l'estiu com es podrà observar en el primer dels estudis portats a terme en aquest projecte.

En període secs i amb elevada temperatura, degut al pas dels vehicles pesats provocarà un major poliment dels àrids i per tant comportarà una pèrdua d'adherència que es manifestarà amb un menor valor del coeficient de fregament transversal. En canvi a l'hivern tenim un poliment més alt i permet disposar d'un major fregament.

En el primer estudi on s'analitza la variable del clima el què es pretén és obtenir un gràfic com el que es mostra a continuació on s'observa el caràcter fluctuant de la resistència al lliscament en funció de l'època de l'any.

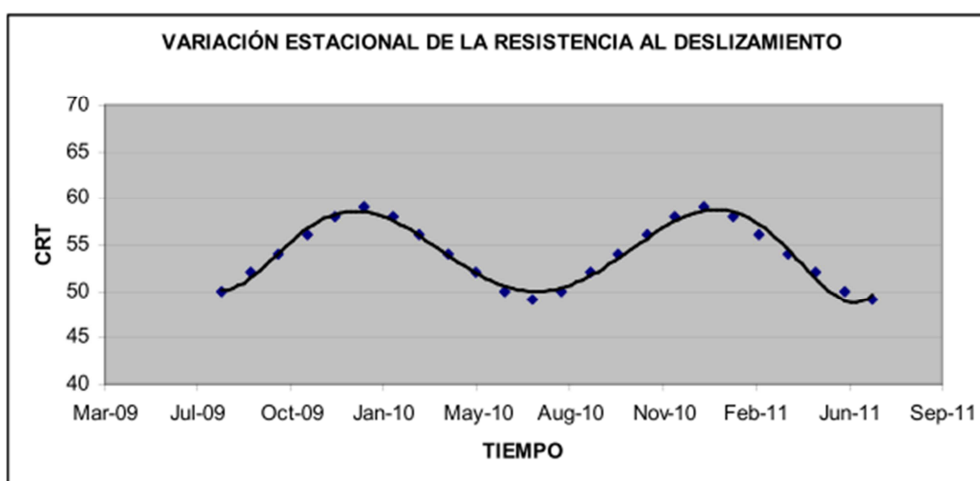


Fig.3.7 – Variació estacional de la resistència al lliscament

3.5.2 EFECTE DEL TRÀNSIT

3.5.2.1 Intensitat de tràfic

La intensitat de tràfic té un paper molt important en quan a l'adherència d'un paviment asfàltic. A major tràfic en una carretera provocarà un augment en el seu desgast i per tant comportarà una pèrdua d'adherència del pneumàtic amb la calçada.

Aquest fet es mostra en el tercer estudi realitzat on s'han pogut analitzar diferents trams d'una mateixa carretera que posseïen diferents intensitats de tràfic per tal de veure l'efecte d'aquest paràmetre sobre la resistència al lliscament. En les vies en les quals el percentatge de vehicles pesats és elevat comportarà una major pèrdua de la capacitat d'adherència



Fig.3.8 – Intensitat de tràfic

3.5.2.2 Categoria de la via

A més a més, i tal i com s'estudia en aquest projecte també influirà de diferent forma el tipus de via per la qual es circula, ja que les vies en què el percentatge de vehicles pesats sigui més elevat hi tindrà lloc un desgast superior i per tant una disminució en quan a la resistència al lliscament, mentre que en les vies ràpides, en les quals hi circulen menys vehicles pesats, tindran una major adherència i es manifestarà amb un valor més alt del coeficient de fregament transversal tal i com es podrà observar en un dels estudis portats a terme en aquest present treball.



Fig.3.9 – Representació dels tipus de vies

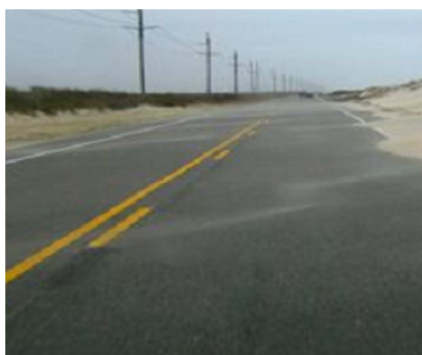
3.5.3 FACTORS ASSOCIATS AL PAVIMENT

3.5.3.1 Materials empleats

Els materials utilitzats estan associats al tipus de paviment de la carretera. Adquireix una gran importància el material que es disposa en la superfície. Per una banda, la seva composició mineralògica determinarà la seva duresa i per tant la seva major o menor facilitat de fractura amb la qual cosa afectarà a la microtextura del paviment. Per altra banda, cal tenir en compte la mida màxima dels àrids i la seva granulometria dels agregats de la superfície ja que determinaran la macrotextura d'un paviment asfàltic.

3.5.3.2 Acabat de la superfície

En superfícies asfàltiques, com és aquest cas, l'acabat de la superfície depèn de la qualitat constructiva i de les tècniques emprades. Aquelles mesclades que tenen un elevat nombre d'àrids petits i llisos comporten una microtextura i macrotextura baixes. En canvi, si augmenta el percentatge i el nombre de cares fracturades dels àrids i la seva mida augmenta, es manifestarà amb un augment tant de la microtextura com de la macrotextura.



D'altra banda també és important el grau de neteja de la carretera ja que una carretera amb més brutícia a la superfície implicarà un menor contacte entre els àrids i el pneumàtic i per tant proporcionarà una menor adherència que una carretera amb les condicions òptimes en quan a la neteja.

Fig.3.10 – Paviment en males condicions de neteja

3.5.3.3 Condició geomètrica

La condició geomètrica reflexa l'impacte de la concentració de diferents tipus de maniobres dels vehicles sobre la textura del paviment. En zones corbes, tendirà a un augment del poliment des de l'interior cap a l'exterior de la corba. Aquells punts baixos o amb poca pendent transversal i longitudinal, en conjunt que posseeixen una baixa microtextura i macrotextura, també presenten una baixa fricció.

3.6 EQUIPS DE MESURA DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

3.6.1 INTRODUCCIÓ

La introducció de diferents equips d'auscultació en l'avaluació i l'estudi de l'estat d'un ferm ha suposat un gran avanç en quan a proporcionar un millor coneixement de les condicions en què es troben les carreteres avui en dia. La utilització d'aquests equips ha permès entre altres aspectes, poder realitzar les següents accions [1]:

- Avaluar i quantificar els errors existents en les carreteres i els deterioraments que ha patit un ferm al llarg del temps.
- Definició dels índex de qualitat dels fermes referents al seu estat estructural i funcional.
- Obtenció d'uns models de comportament de les seccions dels fermes.
- Analitzar l'estratègia de conservació.
- Establir especificacions de recepció d'obra nova i de servei.

Realitzar les mesures del coeficient de fregament transversal també és útil per tal de determinar aquelles zones més perilloses en les quals augmenta el risc de produir-se accidents per pèrdua d'adherència i per determinar que les condicions de la capa de rodadura dels aeroports siguin les adequades [23].

Els responsables de la xarxa de carreteres, porten a terme auscultacions de manera regular per tal d'avaluar el deteriorament de la capa de rodadura i del ferm en general. Aquestes auscultacions permeten ser emmagatzemades fent ús de programes informàtics i bases de dades cosa que permet realitzar comparacions de diferents mesures portades a terme i així poder veure l'evolució de la capa de rodadura amb el pas del temps i aplicar les mesures correctes i de conservació necessàries per tal de proporcionar la màxima seguretat. A continuació es mostra una captura d'imatge d'un dels programes destinat a la recopilació de diferents campanyes i que, mitjançant la gravació de les carreteres que són auscultades, permet detectar qualsevol defecte superficial sobre la capa de rodadura.

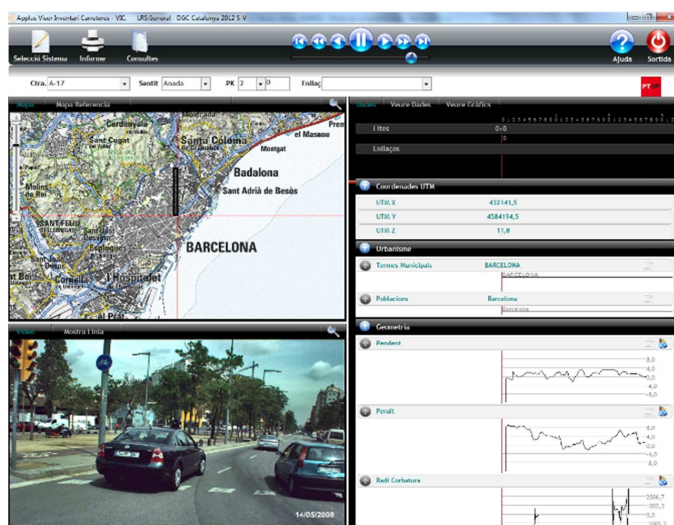


Fig.3.11 – Sistema de gestió de fermes

3.6.2 SCRIM (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine)

3.6.2.1 Introducció

La resistència al lliscament és la força horitzontal que s'oposa al lliscament dels vehicles. Aquesta força consisteix en el producte del coeficient de fregament per la força normal que actua sobre el paviment. Per tal d'adquirir una correcta resistència al lliscament hi ha d'haver contacte entre la roda i el paviment i un bon coeficient de fregament transversal.

Per tant, l'equip SCRIM permet determinar les característiques d'adherència d'un paviment amb la calçada molla. Mitjançant aquest equip, el qual és el més comú d'utilitzar avui en dia, podem determinar el coeficient de fregament transversal i d'aquesta forma poder identificar aquells trams de carretera que posseeixen un baix fregament.

3.6.2.2 Principis de mesura

Aquest equip, disposa d'una roda per tal de realitzar la mesura del fregament d'un paviment. Aquesta roda, gira lliurement i té una forta desviació (aproximadament 20°) respecte el sentit de la marxa del vehicle i al mateix temps s'aplica una carga vertical de 200kg. S'utilitza una roda de pneumàtic de banda totalment llisa per tal d'eliminar qualsevol efecte degut al desgast del dibuix de l'empremta.

L'assaig consisteix en mullar la superfície del paviment just abans del pas de la roda per tal de mesurar el fregament del paviment amb condicions de calçada molla i una làmina d'aigua entre 0,5 i 1 mil·límetres. Un dels avantatges que presenta aquest mètode és que permet registrar la resistència al lliscament de la superfície d'un tram de carretera de forma continuada. Aquest assaig es porta a terme a velocitats de 50 + 10km/h tot i que es poden fer mesures a velocitats fins a 70km/h o per l'altra extrem de fins a 30km/h. L'equip SCRIM esdevé l'equip amb un ús més generalitzat a Espanya en quan a la mesura de la resistència al fregament de les carreteres. A més a més, en l'estudi dels diferents trams de carreteres d'aquest projecte, s'han obtingut els resultats a partir d'aquest equip de mesura.



Fig.3.12 – Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM)

Un altra avantatge que presenta és que permet obtenir el mateix temps la mesura de la resistència al fregament i la macrotextura d'un paviment.

Aquest equip, tal i com s'ha dit, és un equip destinat a l'avaluació de l'adherència entre el vehicle i el paviment el qual es caracteritza fonamentalment per:

- Gran rendiment en l'obtenció de les mesures, cosa que permet realitzar campanyes periòdicament en les vies.
- La seva interferència al tràfic és gairebé nul·la, apart de vies en un sol sentit de circulació que influirà en la velocitat dels vehicles degut a les limitacions en quan a la velocitat a l'hora de realitza les auscultacions amb l'equip.
- Mesura simultània del coeficient de fregament transversal (CRT) i la macrotextura i megatextura d'un paviment asfàltic.

3.6.2.3 Aparells i materials necessaris per a la mesura del CRT

❖ VEHICLE I RODA D'ASSAIG

Aquest aparell per tal de determinar la resistència al fregament i la macrotextura d'un paviment està acoblat al xassís d'un vehicle comercial que al mateix temps porta integrat un depòsit d'aigua. L'aparell porta una roda d'assaig normalitzada situada al costat dret del vehicle i permet realitzar mesures en la zona de rodament dreta del carril intentant pertorbar el menys possible el tràfic dels vehicles per la carretera.

La roda que realitza l'assaig té un pneumàtic llis amb dimensions de 76 x 508mm i una pressió d'inflat de 3,5 +/- 0,2 kg/cm² i carregada amb una massa de 200kg. L'angle que presenta respecte el sentit de la marxa del vehicle és de 20° tal i com es mostra en la següent imatge [9] :

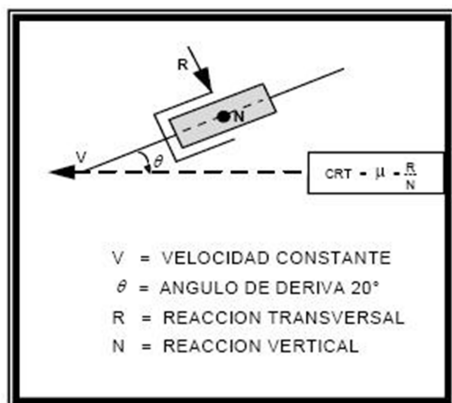


Fig.3.13 – Representació de les forces actuant



Fig.3.14 – Roda d'assaig de l'equip SCRIM

❖ SISTEMA DE MESURA I REGISTRE

El sistema estarà dissenyat per poder mesurar i registrar les forces tangencials que s'originen i la velocitat del vehicle durant la realització de l'assaig. Per tal de determinar les primeres forces tangencials es troba situat un transductor de pressió a l'eix de la roda d'assaig i per obtenir les segones, hi ha un generador d'impulsos connectat directament a la transmissió del vehicle.

La longitud dels subtrams a mesurar, pot ser de 5, 10 ó 20m depenen de la velocitat del vehicle per tal que la velocitat d'adquisició de les dades no superi la capacitat del registre. Finalment, la informació a registrar i la seva posterior elaboració variarà en funció de les necessitats de cada usuari tot i que la informació mínima consisteix en els valors de CRT i la velocitat, la longitud dels trams assajats, la seva ubicació en la carretera, i en el nostre cas també la obtenció de la macrotextura.

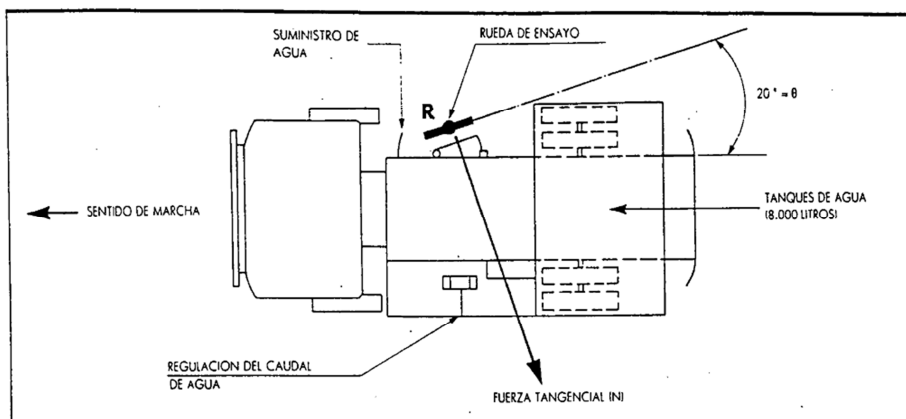


Fig.3.15 – Esquema representatiu de les parts de l'equip SCRIM

❖ SUBMINISTRAMENT D'AIGUA

El subministrament d'aigua és realitza des de el dipòsit integrat al vehicle mitjançant una sortida tubular que faci incidir l'aigua sobre la superfície del paviment davant la roda d'assaig per tal de mullar la superfície del paviment en una amplada d'uns 300mm aproximadament. La sortida de l'aigua és per gravetat i per tant el flux i el cost al mateix temps és variable en funció del nivell d'aigua present en el dipòsit. La clau de sortida de l'aigua es pot calibrar per tal de subministrar una capa d'aigua a la superfície del paviment de $0,5 \pm 0,1\text{mm}$.

És un procediment de mesura totalment estandarditzat i té un vessament d'un caudal d'aigua continu de $0,83 \text{ l/seg} \pm 10\%$. El dipòsit que té el vehicle d'auscultació pot transportar fins a 5.500 litres d'aigua i des de la cabina de l'equip es controla tot el funcionament a través d'un ordinador.

❖ ALTRES APARELLS QUE COMPOSEN L'SCRIM

L'equip també té una càmera de vídeo que permet obtenir imatges frontals de la carretera i del seu entorn amb sortida digital IEE1394 amb la màxima resolució admissible en PAL de 720x576 punts, comprimides en format MJPG amb referències de distància cada 5 metres. Aquestes imatges permeten interpretar correctament el tram auscultat a les persones encarregades de l'avaluació de la carretera en quan a l'adherència.

També incorpora un sistema de posicionament global (GPS) per tal de determinar les coordenades dels punts d'assaig.

3.6.2.4 Mode operatiu de l'equip

En l'anàlisi dels trams de carreteres auscultats, s'introdueix en el sistema unes condicions fixades de l'assaig:

- Velocitat de l'equip
- Subtram de mesura
- Caudal d'aigua
- Punt quilomètric de l'origen del tram analitzat
- Sentit del recorregut (creixent o decreixent)

L'equip també realitza lectures de la temperatura ambient.

A més a més, durant l'execució de l'assaig, s'introdueixen manualment incidències i referències presents en les carreteres com són els punts quilomètrics, juntes de dilatació, ponts, túnels... La codificació numèrica empleada en aquest cas és la següent:

Cal comentar algunes recomanacions per tal de dur a terme un correcte funcionament de l'equip d'auscultació:

- Si es fa ús d'un pneumàtic d'assaig nou és necessari comprovar la seva resiliència i al mateix temps vigilar amb el desgast de la banda de rodament per tal que no superi els 6mm de disminució del diàmetre de la roda (3mm de desgast) que aproximadament correspon a uns 50km d'assaig en condicions mitges.
- Realitzar comprovacions de calibrat almenys una per setmana (el procés de calibrat s'explica en el següent apartat)
- Comprovar la pressió del pneumàtic, la qual ha de ser de $3,5 \pm 0,2 \text{ kg/cm}^2$.

- Cal baixar la roda una distància prèvia abans de realitzar l'assaig del tram desitjat.
- Comprovar que l'espessor de la capa d'aigua és el correcte.

3.6.2.5 Sistema làser de mesura de la macrotextura d'un paviment

L'equip SCRIM porta incorporat un sistema de mesura de la macrotextura i megatextura mitjançant un sensor làser el qual permet realitzar la mesura de forma continuada i amb una elevada precisió de les irregularitats presents en la superfície. El fet de tenir aquest equip ja instal·lat al SCRIM permet obtenir al mateix temps la macrotextura, la megatextura i el coeficient de fregament transversal (CRT).

Consisteix en l'emissió d'un raig làser que toca la superfície del ferm i es reflexa en un potenciòmetre òptic i s'obté l'altura de reflexió en funció de la zona d'incidència del raig reflectit.

Aquest mètode és molt més sofisticat i precís que el mètode del cercle de sorra el qual s'ha comentat en apartats anteriors.

Aquest equip consta dels següents elements:

- Una càmera amb lent d'enfocament i un foto-detector d'alta resolució.
- Una font de llum, làser IR d'intensitat controlada.
- Una unitat de procés de la senyal.
- Dos sistemes de lents situats darrera l'obertura làser i a la càmera detectora.

El sistema làser treballa amb una freqüència mínima de 32.000 pulsacions per segon i dona una resolució vertical de 31,5 micròmetres. L'esquema bàsic de funcionament del texturòmetre es mostra en la següent imatge:

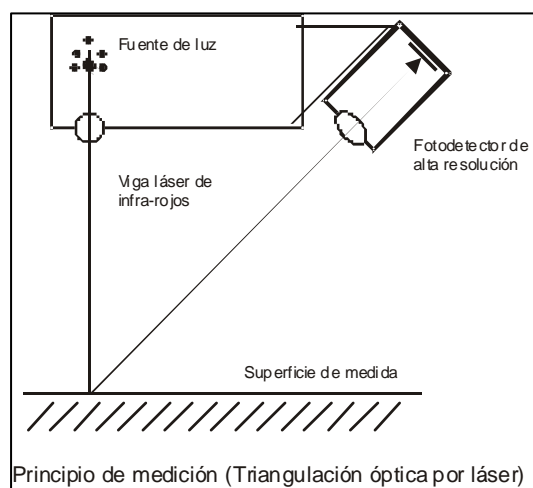


Fig.3.16 – Principi de mesura del làser

3.6.3 EQUIP GRIP-TESTER

Consisteix en un equip d'auscultació destinat a mesurar el coeficient de fregament el qual és reconegut mundialment. És un equip que s'utilitza en aeroports grans i petits de tot el món per realitzar proves de funcionament i manteniment. També és utilitzat en proves de carreteres, plataformes d'aterratge d'heliports i zones peatonals i per mesurar les característiques friccionals de les senyals de carretera.

Està format per un remolc amb tres rodes, dues de les quals s'utilitzen per tal de proporcionar estabilitat a tot el sistema i l'altra és una roda mesuradora amb un pneumàtic llis normalitzat.

El funcionament de l'equip té lloc en condicions de paviment mullat i porta un sistema de reg calibrat i un tanc de 500 litres situat en l'equip que arrastra el Grip Tester per tal de poder realitzar l'abastament d'aigua. El sistema de transmissió bloqueja parcialment la roda de mesura mentre que la càrrega vertical i la resistència a la rodadura són mesurables de manera constant. El coeficient de fricció longitudinal és la relació entre dues forces mesurades, és a dir, la càrrega vertical i la resistència a la rodadura. Aquest valor és coneix amb el nom de *Grip Number* i es transmet a la computadora situada a la cabina del vehicle remolcador.

La velocitat d'aquest assaig varia entre 6km/h a 130km/h tot i que la velocitat normal en carreteres és de 50km/h. Esdevé un equip fàcil de manipular, calibrar i mantenir. Té una vida útil llarga i ajuda a l'usuari a reduir costos de manteniment i proporciona una millora en la seguretat en carreteres i aeroports. Permet identificar zones pobres en fregament abans que puguin ocasionar alguna situació perillosa i estudia els accidents de les carreteres per tal de determinar si les condicions de superfície han estat un factor significant o no.



Fig.3.17 – Equip Grip-Tester

3.6.4 PÈNDOL DE FRICCIÓ TRRL

Consisteix en una mesura puntual sobre la calçada que permet avaluar la resistència al lliscament de la superfície del paviment. És un principi de mesura simple que consisteix en deixar caure lliurement el braç del pèndol des de una altura determinada i d'aquesta manera el patí revestit de cautxú que té el braç en l'extrem, llisca sobre la

superfície de la calçada. Posteriorment es mesura l'altura màxima a la qual arriba el braç després de lliscar el patí sobre la calçada. La superfície de la calçada ha d'estar molla per tal d'efectuar correctament l'assaig i els resultats que s'obtenen han de ser corregits per temperatura.

Aquest assaig també es pot emprar en mesures en paviments d'edificacions industrials, assaigs en laboratoris sobre provetes o en qualsevol altre tipus de mostra de superfícies planes acabades.

Al ser un equip estàtic, l'equip i el personal que realitza l'assaig han d'ocupar una part de la calçada cosa que comportarà certs problemes en quan al tràfic de la carretera.



Fig.3.18 – Pèndol de fricció TRRL

Per tant s'hauran d'adoptar les mesures de senyalització necessàries i per aquest motiu, a més a més del baix rendiment de l'equip, provoca que actualment sigui un equip poc utilitzat i s'opti per l'ús d'equips amb un major rendiment com són l'SCRIM o el Grip-Tester.

Aquest equip té les mesures normalitzades segons ASTM E-303 i la mesura entrega com a resultat el valor BPN (British Pendulum Number).

3.6.5 EQUIP MU METER

Consisteix en un equip que mesura de forma continuada la fricció en la superfície. Aquest consta d'un petit remolc de tres rodes que incorpora els sistemes electrònics de mesura que operen conjuntament amb un ordinador. També disposa d'un tanc d'aigua que permet realitzar les mesures en condicions molles del paviment.

El remolc consta de dues rodes especificades on cada una d'elles està desviada $7,5 \pm 0,75^\circ$ cap a fora de l'eix de l'equip i la pressió de l'inflat en les dues rodes ha de ser de 69 ± 3 kPa mesurada a temperatura ambient. La tercera roda és la que permet avançar el registre de la gràfica continua i té una pressió de 207 ± 14 kPa també mesurada a temperatura ambient. L'equip tindrà les següents càrregues estàtiques verticals en el moment de realitzar l'assaig:

- Cada roda de l'assaig : 761 ± 9 N
- Roda de darrera: 525 a 614 N
- Ganxo del remolc: 360 N

La velocitat màxima a la qual és porta a terme l'assaig és de 96 km/h.

A continuació es mostra aquest equip explicat.



Fig.3.19 – Equip Mu Meter

3.7 ÍNDEX DE FRICCIÓ INTERNACIONAL

L'índex de fricció internacional (IFI) consisteix en un indicador internacional per tal de definir l'estat d'una carretera. El desenvolupament d'indicadors internacionals va començar amb l'Índex de Regularitat Internacional (IRI). Aquest índex permet representar les característiques de seguretat vial en condicions de frenada (coeficient de fregament transversal i textura) i es representa amb dos números expressats entre parèntesis i separats per coma on el primer correspon a la fricció i el segon la macrotextura. El primer és un número adimensional i el segon és un número positiu sense límits determinats i unitat de velocitat (km/h). El valor zero de fricció indica lliscament perfecte mentre que el valor unitat representa adherència.

Aquest indicador, permet poder comparar diferents tipus de paviments empleats en qualsevol país. L'IFI neix a mitjans de la dècada dels 90 i significa que un paviment amb un IFI determinat, es trobi on es trobi, presenta les mateixes característiques d'adherència i textura, independentment del tipus de paviment que sigui i de l'equip de mesura que hagi estat empleat per tal d'obtenir-lo.

La necessitat de crear aquest Índex de Fricció Internacional, va sorgir a partir d'un experiment que es va dur a terme en carreteres en servei de Bèlgica i Espanya al 1982 realitzat pel Comitè de Característiques Superficials de l'Associació Internacional Permanent de Congressos de Carreteres (A.I.P.C.R.). La finalitat d'aquest experiment era poder harmonitzar els equips i mètodes que s'utilitzen en l'avaluació de la resistència al lliscament i la textura en diferents països.

Els principals objectius d'aquest experiment van estar:

- Valoració de les relacions entre les mesures de fricció i textura realitzades per diferents equips i modificant les condicions físiques del assaig: textura, velocitat, clima, etc.
- Quantificar la relació entre les mesures de fricció i textura realitzades per diferents equips per tal de facilitar l'intercanvi i l'harmonització de la informació tècnica.
- Facilitació de l'intercanvi d'informació tècnica.
- Establir una escala internacional de fricció en què es puguin referir tots els equips.

Aquest índex és una escala de referència, d'aplicació internacional, basada en el Model AIPCR que relaciona la fricció amb la velocitat de desplaçament. Aquest model serveix per estimar la constant de referència de velocitat (S_p) i la de fricció a 60km/h (F_{60}) d'un paviment. Els dos valors (F_{60} i S_p) expressen l'IFI d'un paviment i permeten calcular el valor de fricció, $F(S)$ a qualsevol velocitat de lliscament S mitjançant l'equació següent:

$$F(S) = F_{60} \cdot e^{\frac{(60-S)}{S_p}}$$

3.8 NORMATIVA DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT I LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL

3.8.1 ESPECIFICACIONS DE LA UNITAT ACABADA

❖ MESCLAS BITUMINOSAS EN CALENT TIPUS FORMIGÓ BITUMINOS

La superfície de la capa de rodadura ha de presentar una textura homogènia, uniforme i evitar la presència de segregacions.

Tan sols a efectes de recepció de capes de rodadura, la macrotextura superficial obtinguda a partir de l'assaig del cercle de sorra segons la UNE-EN 13036-1 i la resistència al lliscament segons la NLT-336, no seran inferiors als valors indicats en la següent taula:

CARACTERÍSTICA	CLASSE DE MESCLA
MACROTEXTURA SUPERFICIAL (*) Valor mínim (mm)	0.7
RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT (**) CRT mínim (%)	65

(*) Mesurada abans de la posada en servei de la capa de rodadura.

(**) Mesurada una vegada han passat dos mesos de la posada en servei de la capa de rodadura

Taula 3.2 – Macrotextura superficial i resistència al lliscament de mesclades tipus formigó bituminós per capes de rodadura

❖ **MESCLES BITUMINOSES PER CAPES DE RODADURA. MESCLES DRENANTS I DISCONTINUES**

En aquest cas els valors en quan a la macrotextura superficial i la resistència al lliscament que s'hauran de complir són els següents:

CARACTERÍSTICA	CLASSE DE MESCLA	
	BBTM B i PA	BBTM A
MACROTEXTURA SUPERFICIAL (*) Valor mínim (mm)	1,5	1,1
RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT (**) CRT mínim (%)	60	65

(*) *Mesurada abans de la posada en servei de la capa de rodadura.*

(**) *Mesurada una vegada han passat dos mesos de la posada en servei de la capa de rodadura*

Taula 3.3 – Macrotextura superficial i resistència al lliscament de mescles drenants i discontinues per capes de rodadura

Com es pot observar, per obres acabades d'executar, el valor exigít de resistència al lliscament és d'un CRT mínim de 60%.

Es necessari, per tant, tenir consideració els valors requerits pel Ministeri de Foment [8] per treballs de nova construcció gestionats mitjançant contractes convencionals d'obra. Aquests requeriments, mostren que la resistència al lliscament ha de ser mesurada després de transcórrer dos mesos després de la posada en servei del ferm d'una carretera al tràfic. El mínim CRT esperat en aquest moment ha de ser entre el 60-65% i per treballs acabats d'executar, la resistència al lliscament ha de ser superior que el 60%.

En quan a la freqüència de mesura, serà suficient acotar la mesura als dos mesos de la posada en servei de la capa, com es troba prescrit en el PG-3 [8], realitzar una mesura anual els dos primers anys de vida d'un ferm i posteriorment a bianual.

3.8.2 CONTROL DE RECEPCIÓ DE LA UNITAT ACABADA

En les capes de rodadura es portaran a terme els següents assaigs que hauran de complir sempre amb les limitacions establertes en la taula superior:

- Mesura de la macrotextura superficial, segons la UNE-EN 13036-1, abans de la posar en servei la capa, en cinc punts del lot escollits aleatòriament de manera que n'hi hagi almenys un per hectòmetre.

- Determinació de la resistència al lliscament, segons la NLT-336, una vegada ja han passat dos mesos de la posada en servei de la capa, en tota la longitud del lot.

3.8.3 CRITERIS D'ACCEPTACIÓ O ELIMINACIÓ

MACROTEXTURA

El resultat mig de l'assaig de la mesura de la macrotextura no ha de fer inferior al valor de la taula exposada en l'apartat 3.8.1. A més a més, només una de les mesures podrà presentar un resultat inferior al valor marcat en més d'un 25% d'aquest.

Si el resultat mig de l'assaig de la mesura de la macrotextura superficial resulta inferior al valor previst de la taula comentada, es realitzarà el següent procediment:

- Si el resultat mig de l'assaig de la mesura de la macrotextura superficial resulta inferior al noranta per cent (90%) del valor previst en la taula, s'estendrà una nova capa de rodadura i en el cas de mesclures drenants es demolirà el lot, es retirarà a un abocador i es reposarà la capa per ordre del contractista.
- Si el resultat mig de l'assaig de la mesura de la macrotextura superficial és superior al noranta per cent (90%) del valor previst en la taula, s'aplicarà una penalització econòmica del deu per cent (10%).

RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

En capes de rodadura, el resultat mig de l'assaig de la determinació de la resistència al lliscament no pot ser inferior al de les taules superiors. No més d'un cinc per cent (5%) de la longitud total mitja de cada lot podrà presentar un resultat inferior a aquest valor en més de cinc unitats.

Si el resultat mig de l'assaig de la mesura de la resistència al lliscament resulta inferior al valor previst en les anteriors taules, es realitzarà el següent:

- Si el resultat mig de l'assaig de la determinació de la resistència al lliscament resulta inferior al noranta per cent (90%) del valor previst en la taula, s'estendrà una nova capa de rodadura
- Si el resultat mig de l'assaig de la determinació de la resistència al lliscament és superior al noranta per cent (90%) del valor previst en la taula, s'aplicarà una penalització econòmica del deu per cent (10%).

En l'annex 1 es mostren els indicadors de la resistència al lliscament i la macrotextura.[2]

CAPÍTOL 4. ESTUDIS REALITZATS I ANÀLISI DE RESULTATS

4.1 INTRODUCCIÓ

En el present projecte s'han portat a terme quatre estudis diferents per tal d'analitzar la influència de diferents condicionants sobre la resistència al lliscament d'un paviment asfàltic.

Tot i la diversitat de factors que provoquen variacions en els valors de la resistència al lliscament s'ha analitzat l'efecte d'alguns d'aquests, considerats els més rellevants i així poder observar el comportament de la resistència al lliscament i poder determinar si se'n poden extreure resultats significatius o no de cadascun dels estudis realitzats.

Els estudis portats a terme són els següents:





1. Estudi de la variació de la resistència al lliscament degut a les condicions climàtiques.
2. Estudi de la influència dels carrils de circulació en la resistència al lliscament.
3. Estudi de la influència de la intensitat de tràfic en la resistència al lliscament.
4. Estudi de la influència d'altres condicionants en la resistència al lliscament.

Tot seguit es mostren cada un dels estudis portats a terme de forma independent on s'expliquen les característiques dels trams adoptats per a la mesura de la resistència al lliscament i s'exposen tots els resultats obtinguts dels quatre estudis.

Es va realitzar un estudi semblant al primer que s'ha portat a terme en aquesta tesina [4] i per tal de comprovar que els resultats que es varen obtenir siguin coherents, s'ha fet aquest estudi en un altre tram de carretera en el qual s'han realitzat un major nombre d'auscultacions cosa que ha permès aproximar amb major precisió els resultats obtinguts.

A més a més d'aquest estudi, s'han elaborat els altres tres comentats anteriorment.

Tot seguit, es recorda la nomenclatura vial utilitzada en l'execució d'aquests estudis, la qual ja ha estat exposada en el contingut teòric d'aquest treball.

-  **VIA 1** → Via lenta sentit creixent de circulació.
-  **VIA 2** → Via ràpida sentit creixent de circulació.
-  **VIA 3** → Via ràpida sentit decreixent de circulació.
-  **VIA 4** → Via lenta sentit decreixent de circulació.

4.2 ESTUDI DE LA VARIACIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT DEGUT A LES CONDICIONS CLIMÀTIQUES

4.2.1 OBJECTIU PRIMER ESTUDI

L'objectiu d'aquest primer estudi consisteix en l'anàlisi de diverses mesures de la resistència al lliscament en un tram de carretera de 1000 m de longitud el qual es troba situat a la província de Barcelona.

L'obtenció d'aquests resultats s'ha realitzat mitjançant l'equip SCRIM (*Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine*) el qual ja s'ha explicat detalladament en el contingut teòric del projecte. Per tant, mitjançant aquest equip s'han obtingut els valors del coeficient de fregament transversal (CRT) en cada una de les auscultacions realitzades en aquest tram de carretera. Degut a la necessitat de conservació de les carreteres, aquest és un paràmetre molt sol·licitat ja que adquireix una elevada importància disposar d'unes adequades condicions de paviment per tal de poder garantir una correcta seguretat als usuaris de les vies.

La velocitat de l'equip en aquest estudi ha estat de 50km/h, la qual és la velocitat òptima de l'equip. A més a més, les mesures de CRT s'han agafat cada 20 metres que és la distància habitual en quan als estudis de paviments asfàltics.

En aquest estudi el què es pretén es observar la relació d'aquest paràmetre amb les condicions climàtiques i així determinar l'evolució d'aquest en quan al canvi d'estacionalitat i amb la influència de la pluviometria. Cal comentar que els factors climàtics són els que més poden intervenir en les fluctuacions existents en les mesures de la resistència al lliscament dels paviments i degut a aquests factors poden tenir lloc diferències considerables entre les diferents èpoques de l'any. Dintre d'aquests condicionants, les variacions són degudes principalment a:

- Estacionalitat
- Precipitacions caigudes ens dies anteriors a la mesura

Tot seguit es mostren les característiques del tram auscultat juntament amb els resultats obtinguts de la resistència al lliscament.

4.2.2 CARACTERÍSTIQUES DEL TRAM OBJECTE D'ESTUDI

El tram estudiat es tracta d'una carretera amb dos carrils per sentit de circulació que es troba situada a la província de Barcelona. S'ha auscultat una de les quatre vies i la longitud ha estat de 1.000 metres.

Per tal d'estudiar la influència de les condicions climàtiques en aquest tram, el procediment realitzat ha estat la obtenció de diverses mesures en diferents mesos de l'any i així poder observar les variacions degudes als diferents canvis de temperatura. Per poder-me centrar exclusivament en l'efecte del canvi d'estacionalitat, en aquest apartat no s'han tingut en compte aquelles dates de mesures en què les precipitacions les setmanes anteriors haguessin estat molt elevades ja que en aquests casos no podria centrar-me sols en els canvis d'estacionalitat degut al paper important que exerciria l'efecte de la pluviometria, paràmetre que serà objecte d'estudi més endavant.

Les dates de la mesura del coeficient de fregament transversal han estat les següents:

DATES DE MESURA	
28 d'Abril de 2009	13 de Novembre de 2009
30 d'Abril de 2009	20 de Novembre de 2009
7 de Maig de 2009	13 de Gener de 2010
8 de Maig de 2009	15 de Gener de 2010
11 de Maig de 2009	28 de Gener de 2010
15 de Maig de 2009	02 de Febrer de 2010
18 de Maig de 2009	10 de Febrer de 2010
28 de Maig de 2009	22 de Febrer de 2010
18 de Juny de 2009	01 de Març de 2010
30 de Juny de 2009	18 de Març de 2010
02 de Juliol de 2009	14 d'Abril de 2010
03 de Juliol de 2009	16 d'Abril de 2010
17 de Juliol de 2009	23 d'Abril de 2010
21 de Setembre de 2009	31 de Juliol de 2010
30 de Setembre de 2009	31 d'Agost de 2010
05 d'Octubre de 2009	30 de Setembre de 2010
23 d'Octubre de 2009	26 de Novembre de 2010
09 de Novembre de 2009	02 de Desembre de 2010

Taula 4.1 – Dates de mesura del coeficient de fregament transversal

Tot seguit es mostren els resultats del coeficient de fregament transversal obtinguts en el tram d'estudi i les diferents campanyes d'auscultació portades a terme. S'ha calculat el valor de CRT mig en la longitud de 1.000 metres estudiada.

DATA DE MESURA	COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL MIG
28 d'Abril de 2009	53.96
30 d'Abril de 2009	52.02
7 de Maig de 2009	55.19
8 de Maig de 2009	54.37
11 de Maig de 2009	50.11
15 de Maig de 2009	51.60
18 de Maig de 2009	49.45
28 de Maig de 2009	53.57
18 de Juny de 2009	50.00
30 de Juny de 2009	46.37
02 de Juliol de 2009	49.06
03 de Juliol de 2009	48.43
17 de Juliol de 2009	53.39
21 de Setembre de 2009	50.75
30 de Setembre de 2009	48.02
05 d'Octubre de 2009	48.90
23 d'Octubre de 2009	58.50
09 de Novembre de 2009	52.16
13 de Novembre de 2009	54.12
20 de Novembre de 2009	54.63
13 de Gener de 2010	65.62
15 de Gener de 2010	61.80
28 de Gener de 2010	58.94
02 de Febrer de 2010	63.41
10 de Febrer de 2010	63.16
22 de Febrer de 2010	59.02
01 de Març de 2010	53.46
18 de Març de 2010	57.04
14 d'Abril de 2010	58.08
16 d'Abril de 2010	55.9
23 d'Abril de 2010	59.28
31 de Juliol de 2010	49.30
31 d'Agost de 2010	50.00
30 de Setembre de 2010	48.50
26 de Novembre de 2010	57.00
02 de Desembre de 2010	58.88

Taula 4.2 – Valor mig del coeficient de fregament transversal de cada auscultació

En la següent pàgina es mostren els resultats mitjos del coeficient de fregament transversal (CRT) pel tram analitzat i per totes les auscultacions realitzades en el tram objecte d'estudi que posteriorment permetran obtenir una tendència en quan a l'evolució de la resistència al lliscament en funció del canvi d'estacionalitat.

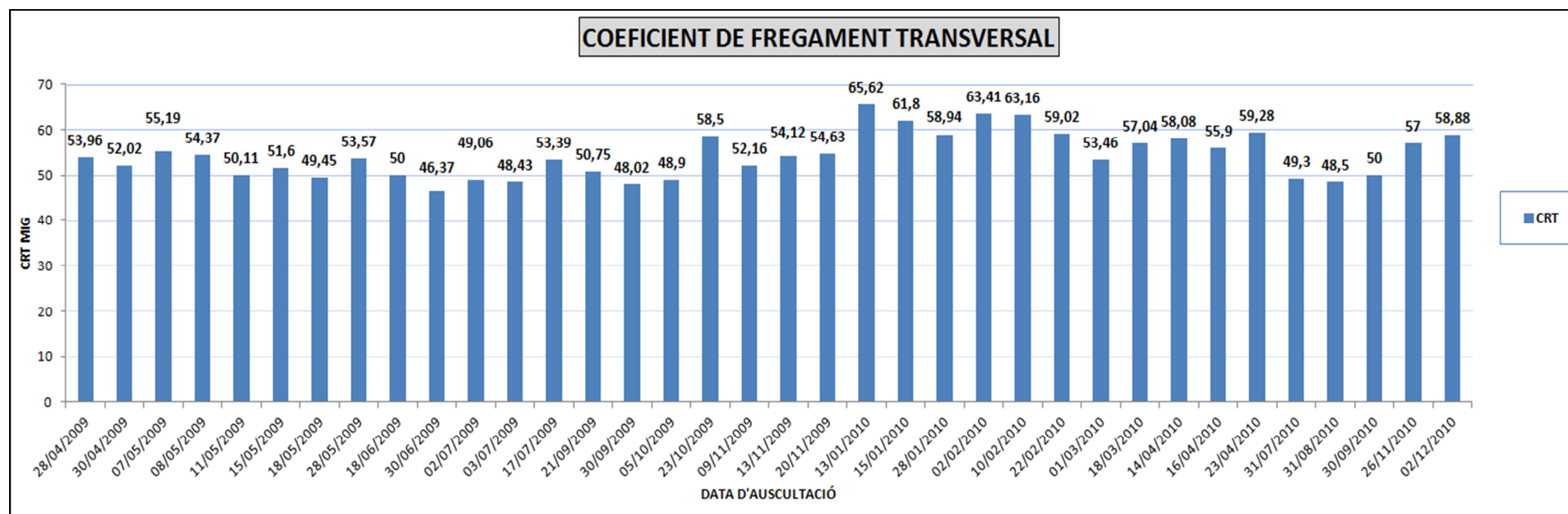


Fig. 4.1 – Representació gràfica del valor mig del coeficient de fregament transversal per cada auscultació

Al disposar d'una gran quantitat de mesures del tram d'estudi ha permès que es pugui obtenir una bona relació entre el coeficient de fregament transversal i el canvi d'estacionalitat. En el següent apartat es mostren els resultats obtinguts en quan aquesta relació.

4.2.3 VARIACIÓ ESTACIONAL DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

Els valors de la resistència al fregament dels paviments fluctua en funció de l'època de l'any en la qual ens trobem. Els cicles anuals de temperatura i humitat-sequedat, provoquen que en la major part de les zones climàtiques, s'observi un cicle anual en el qual el valor de la resistència al fregament presenta valors mínims a l'estiu i valors màxims a l'hivern.

En aquest apartat el què es pretén és poder relacionar els valors de la resistència al lliscament amb els canvis d'estacionalitat.

En el gràfic superior s'han representat totes les auscultacions portades a terme, però en aquest posterior estudi, no s'han tingut en compte algunes mesures realitzades degut a què els dies anteriors a la mesura del CRT, la quantitat de precipitació caiguda era significativa i per tant influiria en els resultats que volem obtenir.

Podem observar que els valors de la resistència al lliscament dels paviments fluctua en funció de l'època de l'any en la qual ens trobem. Mitjançant el gràfic exposat a continuació, es mostra que la resistència al lliscament presenta valors mínims a l'estiu i màxims al hivern.

Respecte aquesta variació obtinguda, cal comentar que en períodes secs i amb elevada temperatura climàtica, degut al pas dels vehicles pesats sobre les partícules de pols del paviment, fa que actuïn de forma abrasiva polimentant la superfície dels àrids i per tant això provoca un menor fregament i com a conseqüència un menor coeficient de fregament transversal. Per altra banda cal recordar que el procés de poliment i regeneració dels àrids es continu i per tant si el poliment és menor comportarà un major fregament i un major coeficient de fregament transversal. Aquest últim cas és el que passa en períodes amb condicions humides i amb menor temperatura climàtica.

En el gràfic següent es representa la variació estacional del coeficient de fregament transversal. En l'eix horitzontal es mostren les dates de les auscultacions portades a terme i a l'eix vertical s'hi troba el valor del CRT mig del tram estudiat.

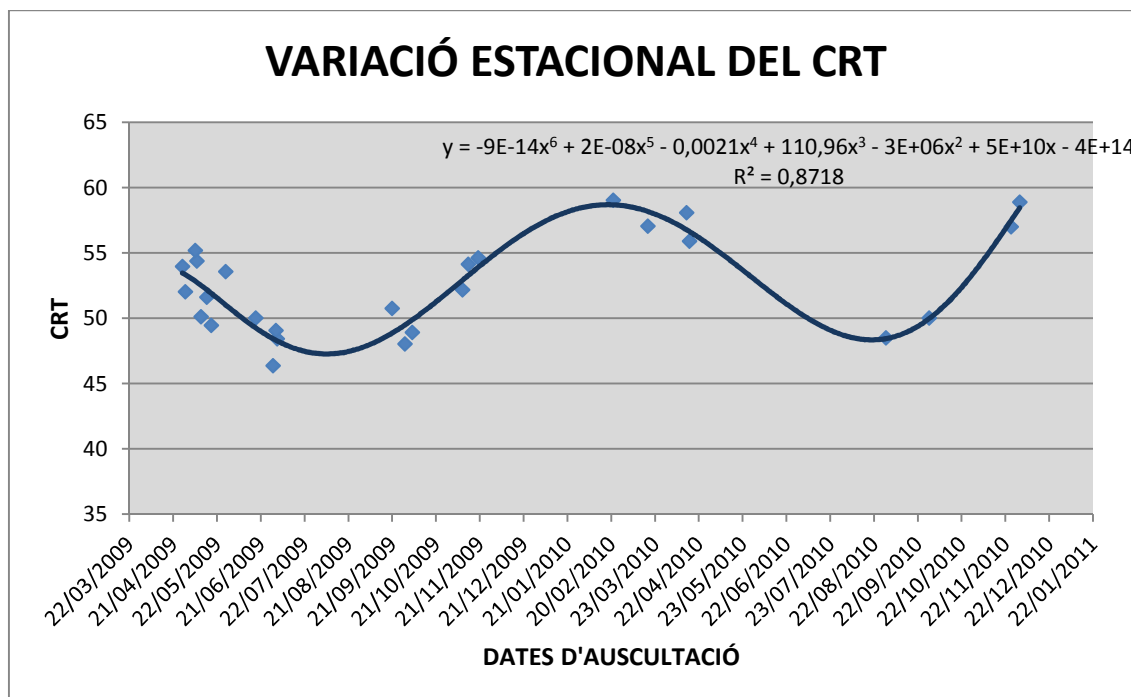


Fig. 4.2 – Variació estacional del coeficient de fregament transversal

L'amplitud de la gràfica de variació estacional de la resistència al fregament (diferència entre valors màxims a l'hivern i mínims a l'estiu), varia depenen del tipus de regió en la qual ens trobem. Quan major és la diferència de temperatura entre períodes càlids i freds i entre períodes humits i secs, major serà l'amplitud del gràfic anterior.

Com s'ha comentat anteriorment, gràcies a l'elevat nombre de mesures del coeficient de fregament transversal del tram objecte d'estudi, s'ha pogut obtenir una molt bona relació en quan a l'evolució d'aquest paràmetre tenint en compte el canvi d'estacionalitat.

4.2.4 ANÀLISI DE LES VARIACIONS DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT DEGUT A LES PRECIPITACIONS CAIGUDES ELS DIES ANTERIORS A LA MESURA DEL CRT

Quan comença a ploure i després d'un període de sequedat en el qual es van dipositant sobre el paviment partícules de pols, grassa... el paviment comença a lliscar per efecte d'aquesta brutícia que s'ha anat acumulant a la superfície del paviment. Posteriorment i degut a l'efecte de la pluja i del tràfic que circula, el paviment es va netejant, mantenint valors de la resistència al lliscament més baixos que si el paviment fos sec, però tot i així es manté constant mentre dura la pluja. Per últim, el paviment s'asseca i el coeficient de fregament augmenta de forma significativa ja que pot arribar aconseguir valors superiors que abans de produir-se la precipitació. Posteriorment, el valor de la resistència al fregament va disminuint a mesura que es van acumulant dies sense precipitació sobre la superfície del paviment fins arribar a un valor característic del ferm en funció de l'època de l'any en la qual ens trobem.

Tal i com s'ha comentat anteriorment l'efecte de la pluviometria fa augmentar el valor del coeficient de fregament transversal. En aquest apartat, al centrar-nos en la pluviometria i no en el canvi d'estacionalitat s'ha considerat convenient no tenir en compte algunes mesures realitzades al Desembre, Gener i Agost les quals eren les que podien provar més modificacions en el resultat degut a les condicions climàtiques en aquestes èpoques. Per tant les dates de mesura del tram estudiat que s'han tingut en compte són les següents:

DATES DE MESURA	
28 d'Abril de 2009	05 d'Octubre de 2009
30 d'Abril de 2009	23 d'Octubre de 2009
07 de Maig de 2009	09 de Novembre de 2009
08 de Maig de 2009	13 de Novembre de 2009
11 de Maig de 2009	20 de Novembre de 2009
15 de Maig de 2009	22 de Febrer de 2010
18 de Maig de 2009	01 de Març de 2010
28 de Maig de 2009	18 de Març de 2010
18 de Juny de 2009	14 d'Abril de 2010
30 de Juny de 2009	16 d'Abril de 2010
02 de Juliol de 2009	23 d'Abril de 2010
03 de Juliol de 2009	30 de Setembre de 2010
21 de Setembre de 2009	26 de Novembre de 2010
30 de Setembre de 2009	

Taula 4.3 – Dates de mesura en l'estudi de la pluviometria

S'ha analitzat la precipitació caiguda en una estació meteorològica pròxima al tram d'estudi. Tot seguit es mostra els resultats de pluviometria obtinguts una, dues i tres setmanes anteriors a la mesura per tal d'observar l'efecte que pot tenir sobre el coeficient de fregament transversal.

❖ DADES PLUVIOMÈTRIQUES

DATA DE MESURA	CRT MIG	PRECIPITACIÓ ACUMULADA DIES ANTERIORS A LA MESURA DEL CRT (mm)		
		3 Setmanes abans de la mesura	2 Setmanes abans de la mesura	1 Setmanes abans de la mesura
28/04/2009	53.96	70	25.6	17
30/04/2009	52.02	44	25.2	15.4
07/05/2009	55.19	39.1	29.3	13.9
08/05/2009	54.37	31.3	29.3	8
11/05/2009	50.11	31.2	14.5	0.3
15/05/2009	51.60	38.3	17	9
18/05/2009	49.45	23.2	9	8.7
28/05/2009	53.57	9	0	0
18/06/2009	50.00	5.5	5.3	0
30/06/2009	46.37	1.6	1.6	0.5
02/07/2009	49.06	1.5	1.5	0
03/07/2009	48.43	1.5	1.5	0
21/09/2009	50.75	27.2	26.8	24.2
30/09/2009	48.02	28.6	22.1	0
05/10/2009	48.90	29.3	5.1	3.3
23/10/2009	58.50	37.5	37.5	25.4
09/11/2009	52.16	25.6	0.2	0
13/11/2009	54.12	0.2	0	0
20/11/2009	54.63	0.2	0	0
22/02/2010	59.02	90.4	82.6	45.7
01/03/2010	53.46	82.8	45.9	0.2
18/03/2010	57.04	57.8	43	0.3
14/04/2010	58.08	16.2	15.6	3.1
16/04/2010	55.90	16.5	15.9	3.2
23/04/2010	59.28	23.4	10.7	7.5
30/09/2010	48.50	27.8	27.8	2.9
26/11/2010	57.00	2.4	2.4	2.2

Taula 4.4 – Precipitacions caigudes dies abans de la mesura del CRT

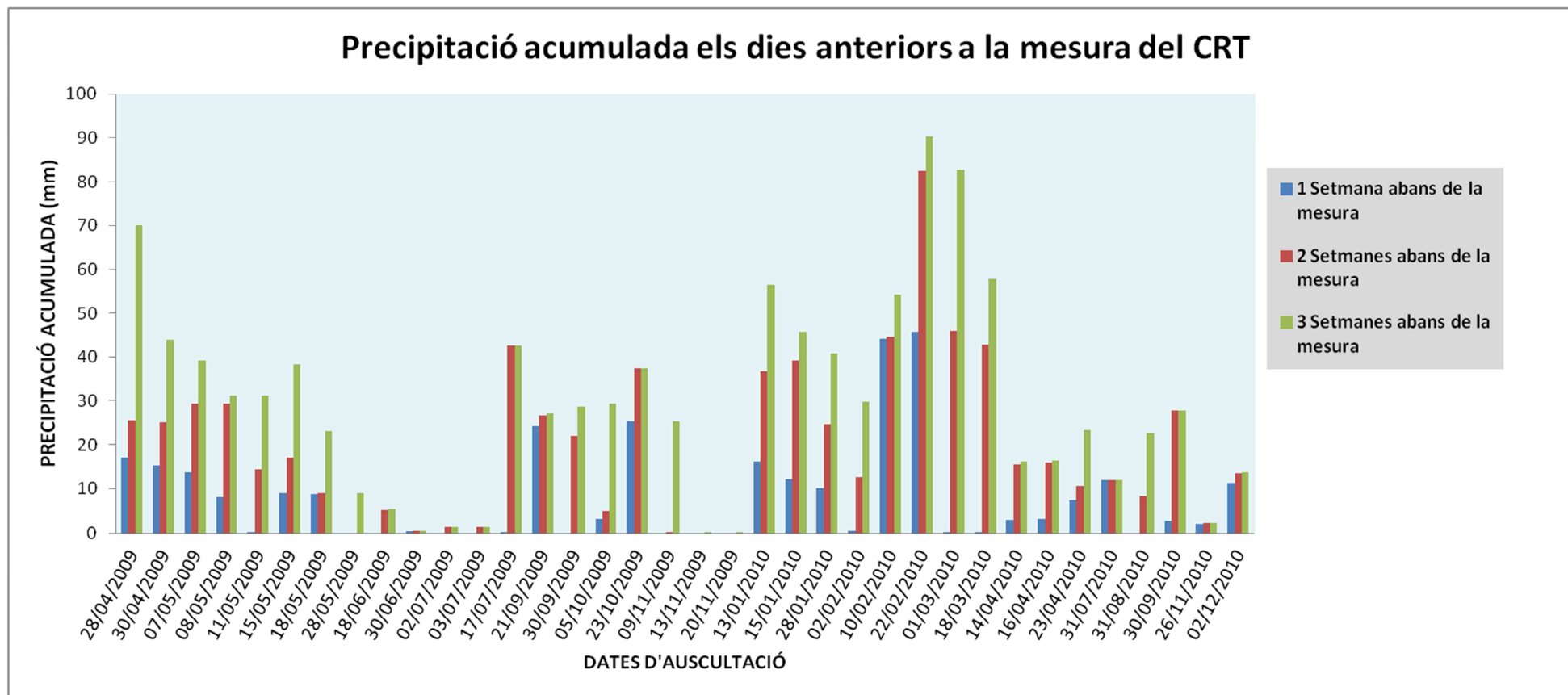


Fig. 4.3 – Precipitacions caigudes dies anteriors a la mesura del CRT

En el gràfic superior es mostren els resultats representats en la taula 4.4 on s'hi mostra la pluviometria una, dues o tres setmanes anteriors a la mesura del CRT per les diferents auscultacions realitzades.

Després dels resultats obtinguts i els gràfics representats anteriorment, tot seguit l'objectiu ha estat buscar una tendència que em permetis obtenir una relació en quan al valor del coeficient de fregament transversal en funció de la precipitació caiguda els dies anteriors a la mesura. Per tant, i com s'ha comentat anteriorment, s'han suprimit aquelles mesures que s'han considerat necessàries per tal de minimitzar al màxim possible l'efecte ocasionat per les variacions estacionals.

Per obtenir aquesta relació s'ha considerat aquelles dades de precipitació que corresponen a dues setmanes abans de la mesura del CRT.

El resultat que s'hauria d'obtenir és que a mesura que augmenta la pluviometria, el valor de CRT també és major. A continuació es mostren els gràfics on s'observa aquesta tendència del coeficient de fregament transversal tenint en compte l'efecte de les precipitacions una, dues i tres setmanes anteriors a la mesura del CRT.

❖ RELACIÓ CRT PRECIPITACIÓ CAIGUDA UNA SETMANA ANTERIOR A LA MESURA DEL CRT

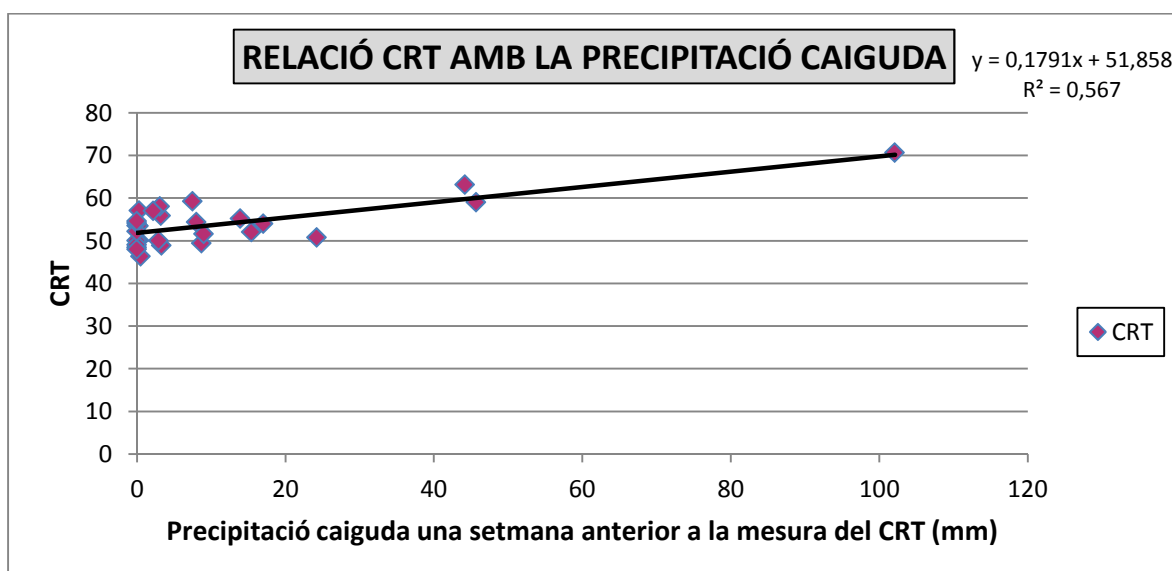


Fig. 4.4 – Relació CRT amb la precipitació caiguda una setmana anterior a la mesura del CRT

❖ **RELACIÓ CRT PRECIPITACIÓ CAIGUDA DUES SETMANES ANTERIORS A LA MESURA DEL CRT**

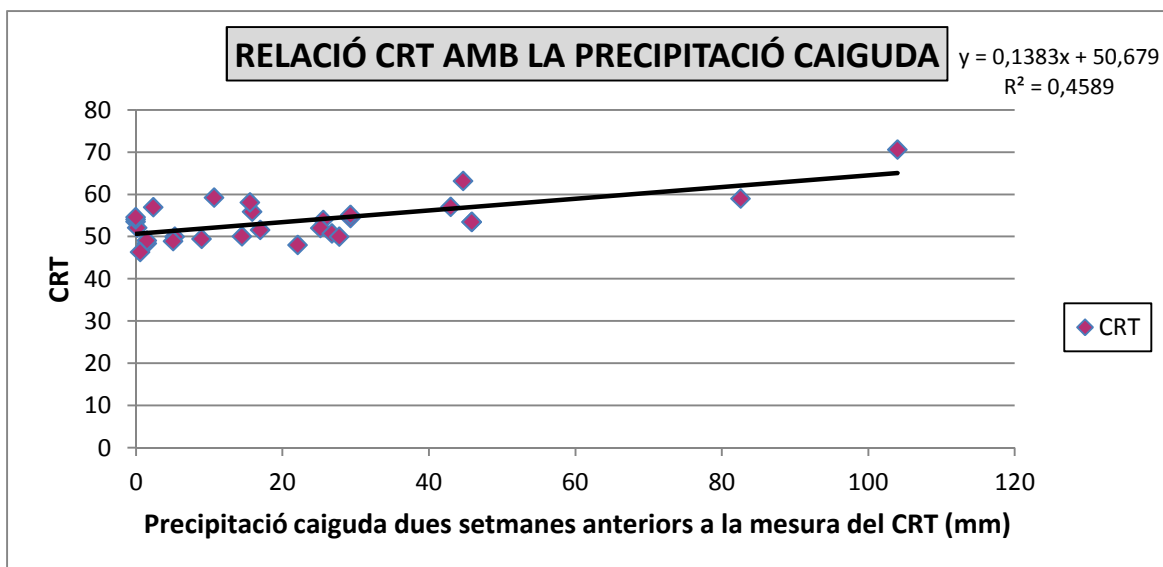


Fig. 4.5 – Relació CRT amb la precipitació caiguda dues setmanes anteriors a la mesura del CRT

❖ **RELACIÓ CRT PRECIPITACIÓ CAIGUDA TRES SETMANES ANTERIORS A LA MESURA DEL CRT**

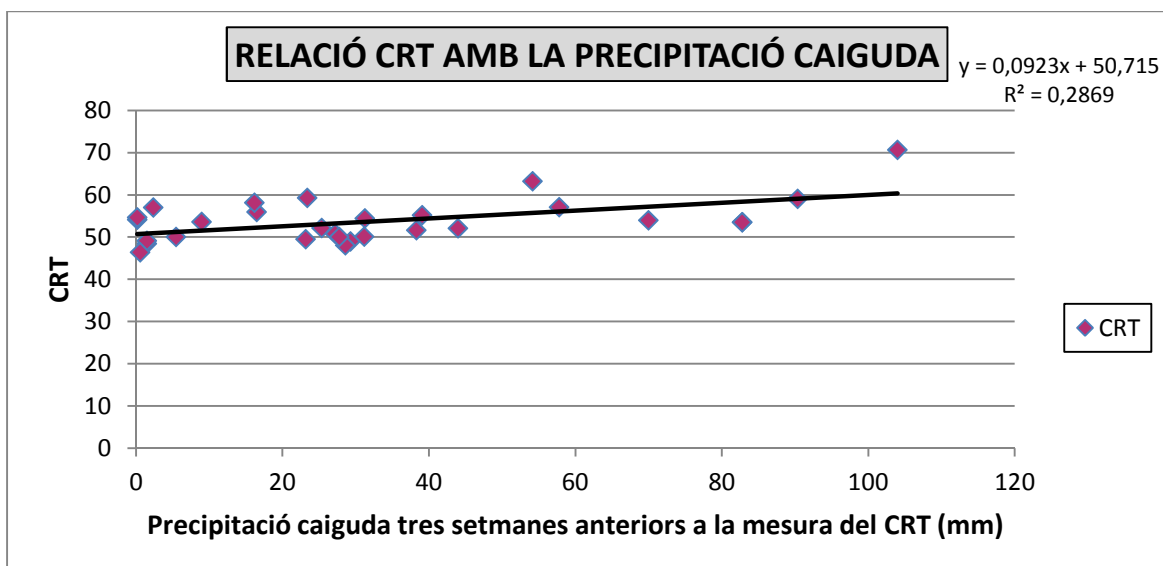


Fig. 4.6 – Relació CRT amb la precipitació caiguda tres setmanes anteriors a la mesura del CRT

Tal i com s'ha comentat, tots els gràfics obtinguts ens verifiquen la tendència que dèiem en relació a la pluviometria ja que a mesura que augmenta la precipitació caiguda comporta un augment en el valor del coeficient de fregament transversal. Al poder disposar d'un nombre de dades important ens ha permès obtenir resultats molt significatius.

✚ Cal comentar que en aquest cas s'ha pogut obtenir unes conclusions satisfactòries en quan a la influència de la precipitació caiguda els dies anteriors a la mesura, però s'hauria d'analitzar en posteriors estudis si el coeficient de fregament transversal adquireix diferents comportaments en funció de la intensitat de la precipitació i no només de la quantitat final ja que podria ser que a major intensitat de pluja proporcionés una major neteja del paviment i per tant ens permetria tenir una major adherència pneumàtic-paviment.

4.2.5 RELACIÓ ENTRE EL VALOR DEL CRT, PRECIPITACIÓ CAIGUDA I L'ESTACIONALITAT

L'objectiu d'aquest apartat consisteix en observar de forma visual la relació existent entre el coeficient de fregament transversal (CRT), la precipitació caiguda i l'època de l'any en la qual s'han realitzat les mesures [5]. En la següent pàgina es mostra un gràfic en la qual es relaciona els valors de CRT obtinguts en cada una de les auscultacions amb les precipitacions caigudes 15 dies anteriors a la mesura i amb l'època de l'any de forma que es pot observar que, en els períodes d'estiu, el valor del coeficient de fregament és menor que en els períodes d'hivern (zones emmarcades en color groc).

S'ha representat la precipitació caiguda quinze dies abans a la mesura del CRT mitjançant un gràfic de columnes i les variacions del CRT en cada una de les auscultacions es mostra amb una línia blava que permet realitzar la comparació dels dos paràmetres al mateix temps.

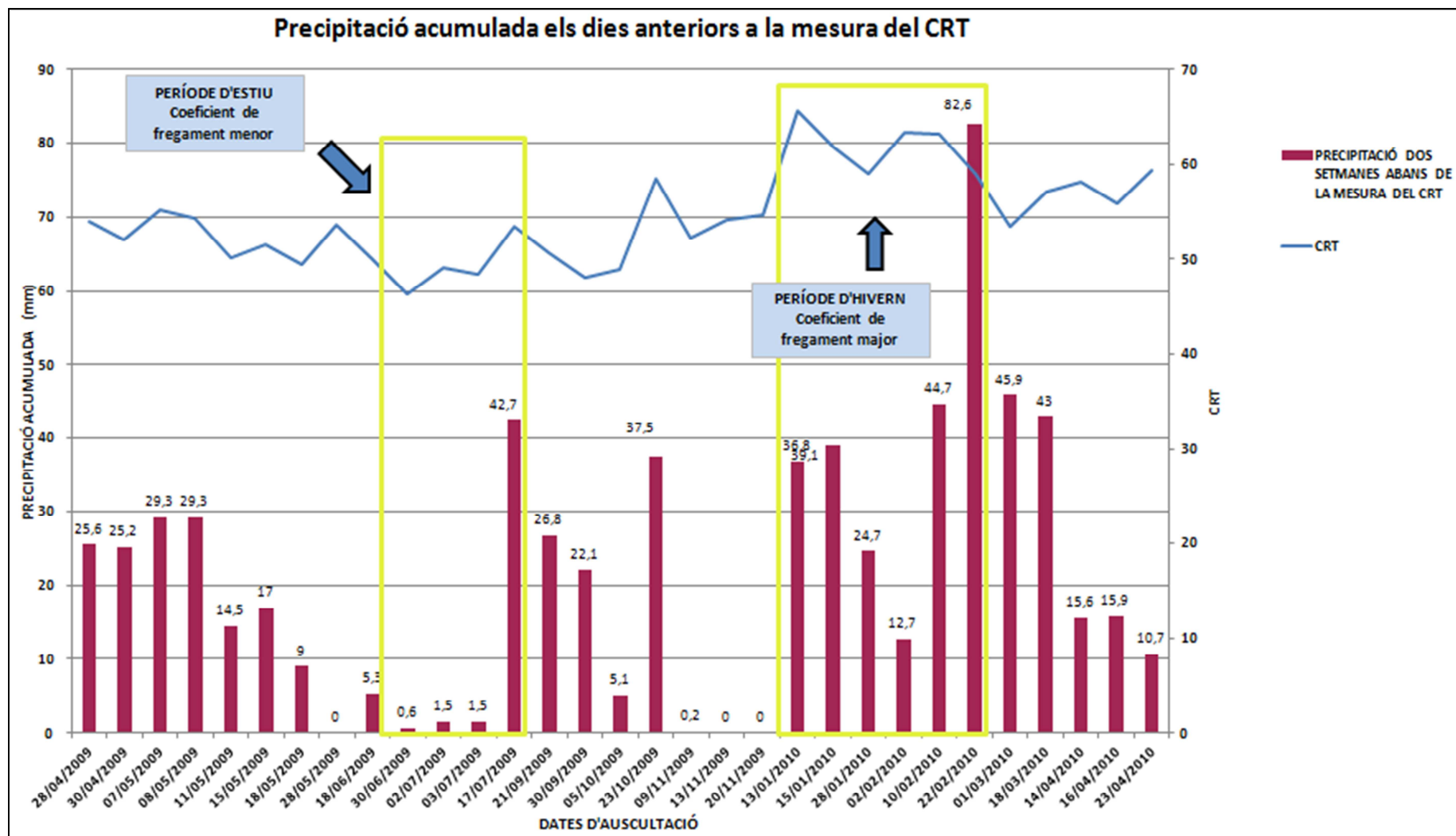


Fig. 4.7 – Relació CRT, precipitació i estacionalitat de les diferents auscultacions

4.3 ESTUDI DE LA INFLUÈNCIA DELS CARRILS DE CIRCULACIÓ EN LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

4.3.1 OBJECTIU SEGON ESTUDI

L'objectiu d'aquest segon estudi consisteix en l'estudi de dos trams de carretera en el qual es porta a terme l'anàlisi de les quatre vies per tal d'observar la diferència en el valor del coeficient de fregament transversal depenen de la via objecte d'estudi.

La resistència al lliscament és un indicador del grau d'adherència d'un paviment i es veu afectada per les característiques del paviment, condicions ambientals, de tràfic i geomètriques. Per tant, el què es pretén en aquest apartat és poder percebre si existeixen diferències significatives entre les vies lentes i ràpides d'una mateixa carretera tenint en compte que el percentatge de vehicles pesats presents en les vies lentes és major que en les vies ràpides i com a conseqüència el valor del coeficient de fregament transversal hauria de ser superior també degut al major desgast de la superfície del paviment. Per tal d'observar si aquest plantejament proporciona resultats satisfactoris, s'ha fet l'estudi en dos trams, els quals tenen les mateixes condicions de paviment e intensitat de tràfic i així poder veure si realment existeixen variacions tenint en compte el carril estudiat.

4.3.2 CARACTERÍSTIQUES DELS TRAMS OBJECTE D'ESTUDI

▪ PRIMER TRAM

El primer tram objecte d'estudi consisteix en una carretera convencional de dos carrils en cada sentit de circulació. El tram avaluat és un tram de 1000 metres situat a la província de Barcelona. A més a més d'analitzar la diferència en quan al valor del coeficient de fregament transversal de les quatre vies, s'ha fet un anàlisi comparatiu del mateix tram mesurat en diferents anys per tal de veure si la diferència entre carrils ràpids i lents s'ha anat mantenint amb el pas dels anys.

Les dates de mesura d'aquest primer tram d'estudi són les següents:

DATES DE MESURA
15 d'Abril de 2014
22 de Novembre de 2013
13 de Novembre de 2013
05 de Novembre de 2012
05 d'Octubre de 2011
30 de Desembre de 2010

Taula 4.5 – Dates de mesura de les auscultacions del primer tram

▪ **SEGON TRAM**

El segon tram objecte d'estudi també consisteix en una carretera convencional de dos carrils en cada sentit de circulació. El tram avaluat és de 1000 metres situat a la província de Barcelona i també s'ha portat a terme el mateix procediment que per el primer tram, és a dir, un anàlisi comparatiu del valor del coeficient de fregament transversal d'aquest tram amb el pas dels anys.

Les dates de mesura considerades són les següents:

DATES DE MESURA
22 de Novembre de 2013
13 de Novembre de 2013
05 d'Octubre de 2011
14 de Desembre de 2010

Taula 4.6 – Dates de mesura de les auscultacions del segon tram

4.3.3 ANÀLISI DE LA INFLUÈNCIA DEL TIPUS DE VIA EN EL VALOR DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL

PRIMER TRAM

Tot seguit s'ha procedit a l'anàlisi de les quatre vies i s'ha calculat el valor mig del coeficient de fregament transversal de totes les vies, el qual ha estat calculat amb l'equip SCRIM (*Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine*). A continuació es mostra una taula amb aquests valors calculats en les diferents dates de mesura del tram d'estudi.

DATES D'AUSCULTACIÓ	CARRIL LENT (VIA 1)	CARRIL RÀPID (VIA 2)	CARRIL LENT (VIA 4)	CARRIL RÀPID (VIA 3)
15 d'Abril de 2014	60.74	67.84	57.36	63.38
22 de Novembre de 2013	61.33	67.78	58.25	66.31
13 de Novembre de 2013	59.67	65.79	53.67	60.33
05 de Novembre de 2012	63.59	74.86	60.49	66.31
05 d'Octubre de 2011	64.35	76.28	61.62	69.62
30 de Desembre de 2010	69.02	77.94	61.63	67.18

Taula 4.7 – Resultats de CRT de totes les auscultacions i per cada via de circulació (primer tram)

Observant aquesta taula representada, ja es pot observar que realment sí que existeix una diferència entre els valors del coeficient de fregament transversal de les vies lentes i les vies ràpides.

Tot seguit es mostren dos gràfics de barres amb les dades obtingudes de les diferents auscultacions realitzades en aquest tram d'estudi que permeten una millor interpretació dels resultats obtinguts.

➤ SENTIT CREIXENT DE CIRCULACIÓ

- Via 1 (Via lenta)
- Via 2 (Via ràpida)

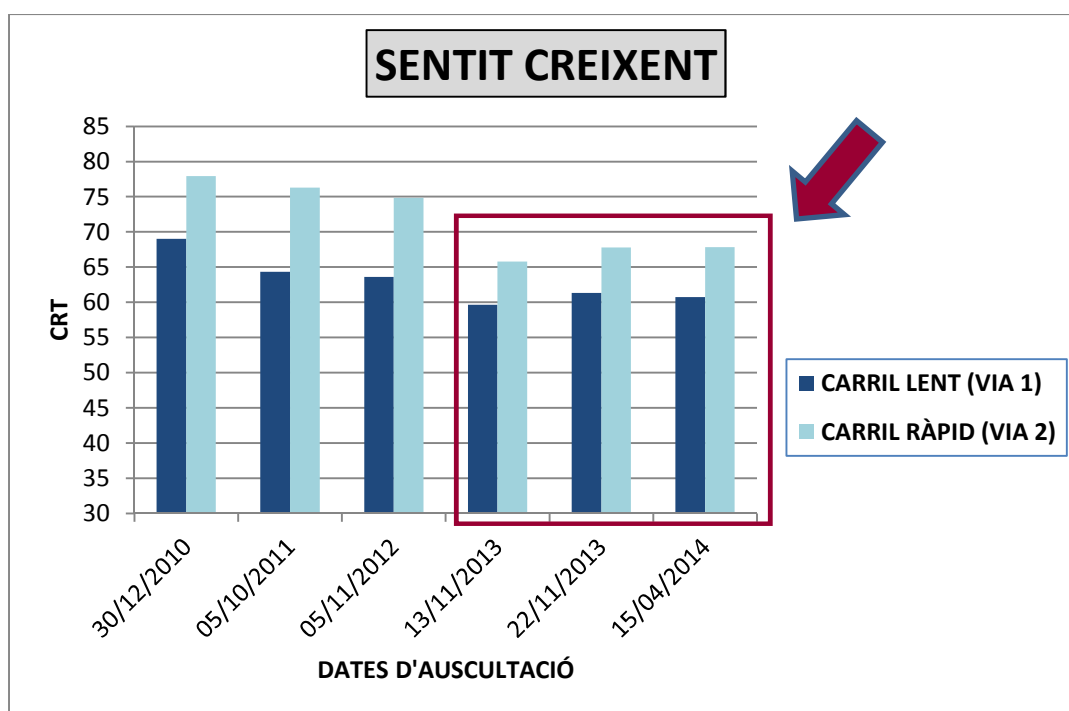


Fig. 4.8 – Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit creixent

Observant el gràfic superior, a més a més de veure la clara diferència entre vies ràpides i lentes en un mateix tram de carretera com ja s'ha comentat anteriorment, s'ha pogut demostrar una pèrdua de l'adherència amb el pas dels anys degut al desgast que rep la capa de rodadura diàriament pel pas dels vehicles.

De totes maneres, es pot observar un lleuger canvi en quan a les auscultacions realitzades al 2013 i 2014 (marcades en el gràfic superior) ja que en aquests casos la tendència a disminuir del CRT no s'hi observa. Per tal d'entendre aquest fet, s'ha

procedit a mirar la pluviometria que va tenir lloc aquestes dues dates. Aquest anàlisi de la pluviometria es mostra en l'apartat 2.4 d'aquest mateix estudi.

Tot seguit s'ha realitzat un gràfic evolutiu del coeficient de fregament transversal de les dues vies en sentit creixent.

✚ Cal comentar que per l'elaboració d'aquests gràfics en els dos sentits de circulació sols s'han tingut en compte aquelles auscultacions en les quals no s'han registrat períodes de pluja importants els dies abans de la mesura del CRT per tal de permetre veure l'evolució d'aquest paràmetre sense que l'efecte de la pluviometria en modifiqués el resultat.

EVOLUCIÓ COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL EN SENTIT **CREIXENT**

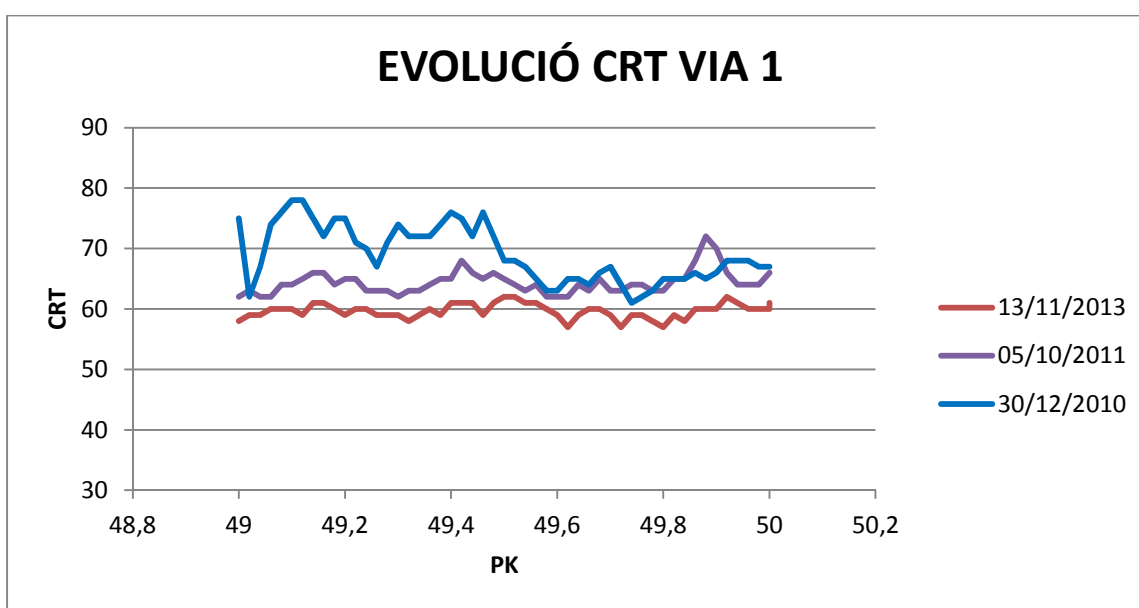


Fig. 4.9 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 1

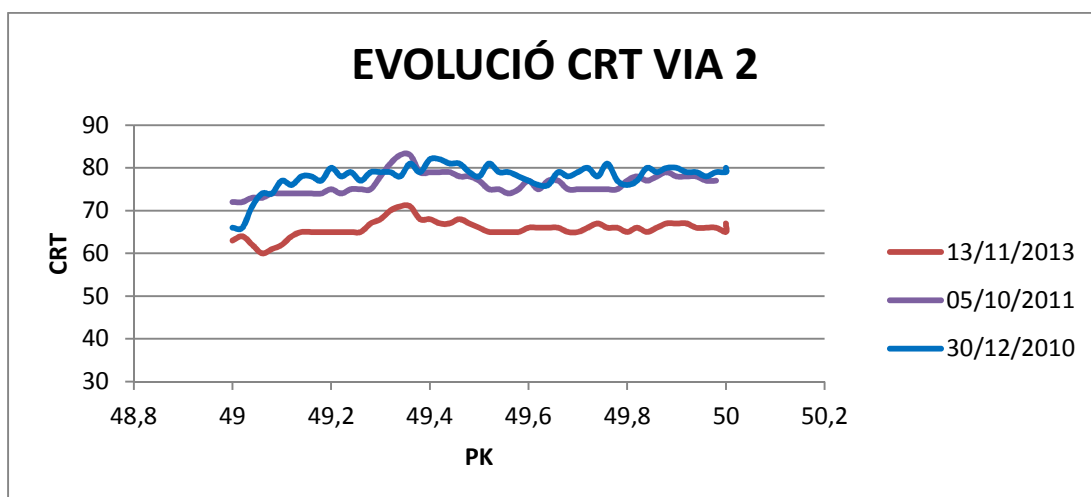


Fig. 4.10 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 2

Tot i la variabilitat de valors del coeficient de fregament transversal, es pot observar la tendència que ha tingut aquest paràmetre a disminuir amb el pas del temps en tot el recorregut estudiat i no només en el valor del coeficient de fregament mig calculat anteriorment. En l'auscultació portada a terme al 2010, el tram de carretera estudiat posseïa una elevada adherència pneumàtic-paviment que s'ha vist disminuïda pel pas dels vehicles al llarg del temps com es pot veure en l'auscultació del 2013 que és la inferior de les tres. A continuació es mostra el mateix estudi realitzat però tenint en compte el sentit decreixent de circulació.

➤ SENTIT DECREIXENT DE CIRCULACIÓ

- Via 4 (Via lenta)
- Via 3 (Via ràpida)

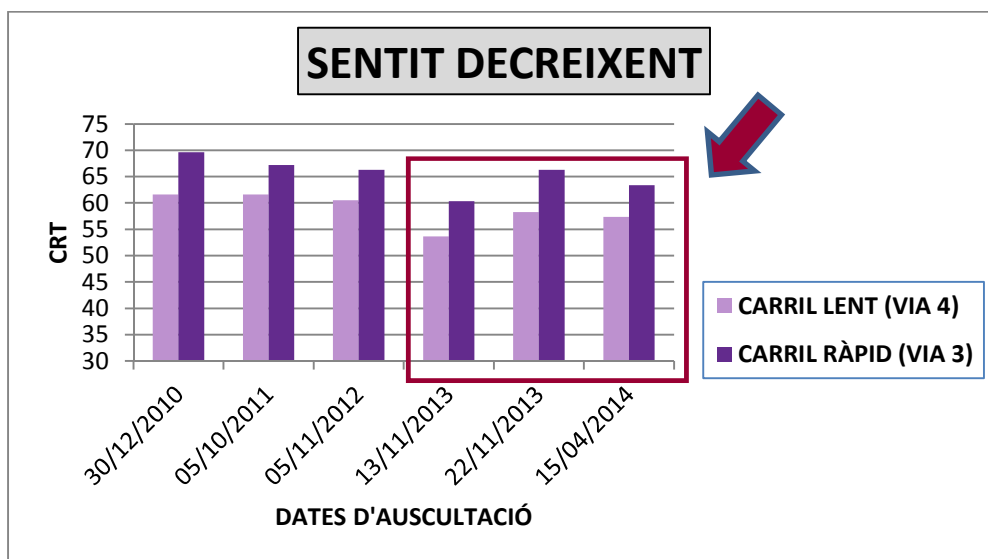


Fig. 4.11 – Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit decreixent

En aquest sentit de circulació, també es pot observar la diferència significativa entre via lenta i ràpida en quan al valor del coeficient de fregament transversal tenint en compte, al igual que en el cas anterior, les variacions presents en les auscultacions del 2013 i 2014 per l'efecte de la pluviometria.

Tot seguit s'ha realitzat també el gràfic evolutiu d'aquest paràmetre en les dues vies que componen el sentit decreixent descartant aquelles auscultacions en què l'efecte de la pluja adquiria protagonisme.

EVOLUCIÓ COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL EN SENTIT DECREIXENT

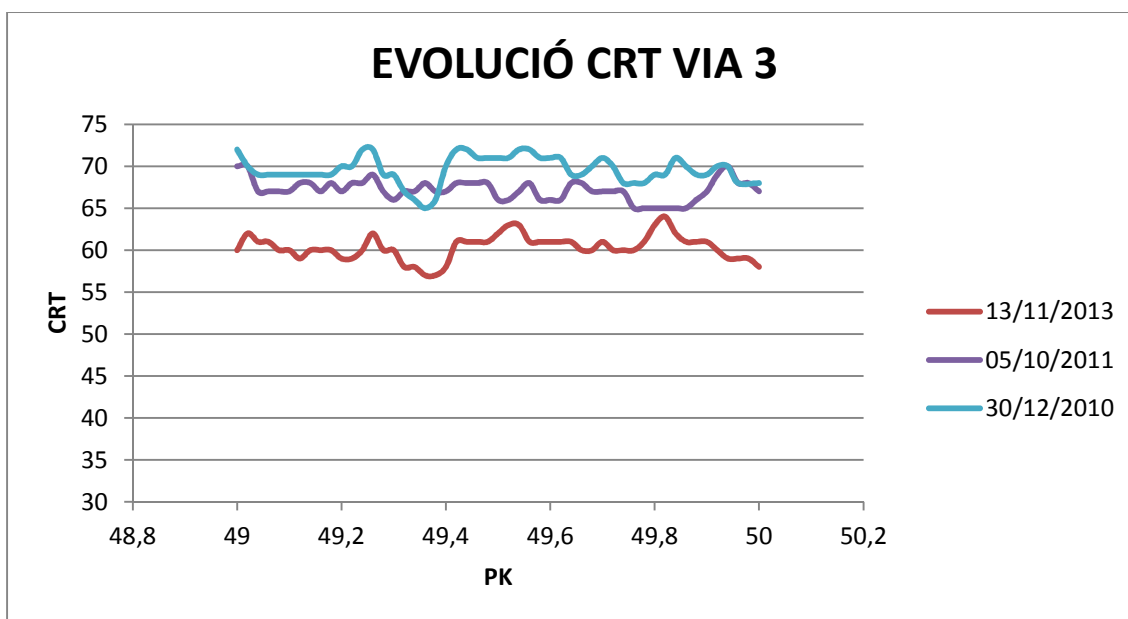


Fig. 4.12 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 3

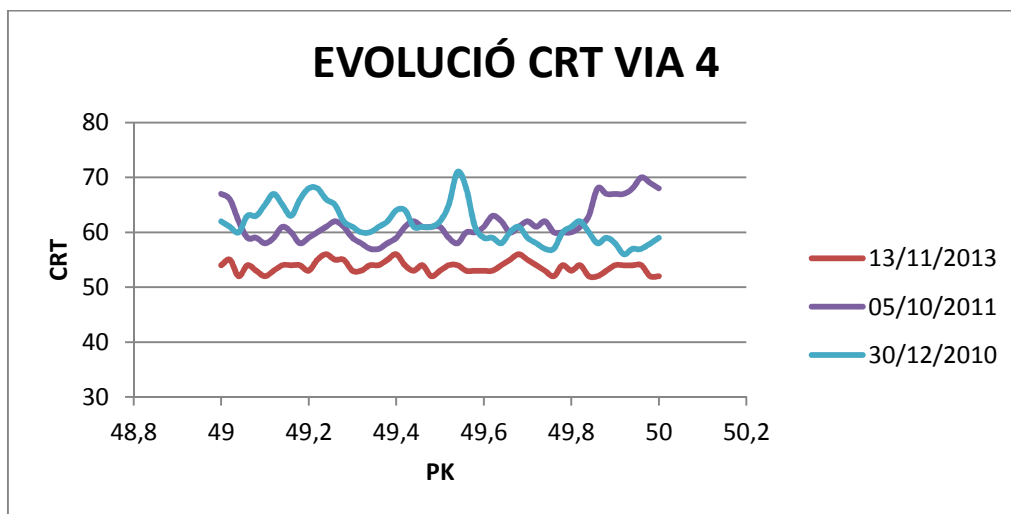


Fig. 4.13 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 4

En aquest sentit de circulació passa igual que l'anterior. Respecte els gràfics anteriors en podem concloure que l'adherència també va disminuint amb el pas dels anys ja que tot i la variabilitat que presenta el coeficient de fregament transversal en tot el tram estudiat, la tendència a disminuir també s'observa en el sentit decreixent de circulació per les dues vies auscultades.

A continuació es mostren uns gràfics de freqüències acumulades del coeficient de fregament transversal en el tram estudiat i per les diferents dates d'auscultació.

FREQÜÈNCIES ACUMULADES

- DATA AUSCULTACIÓ: 15 d'Abril de 2014

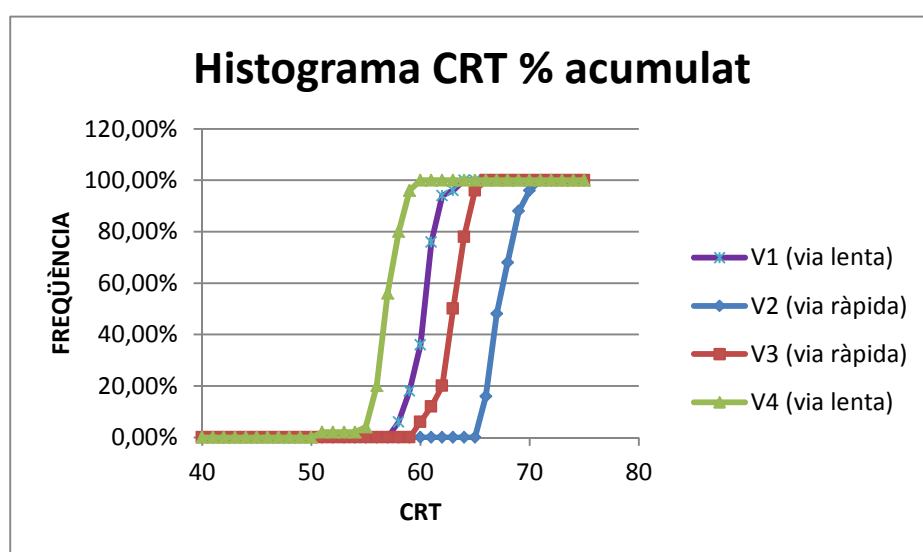


Fig. 4.14 – Histograma del CRT acumulat del 15 d'Abril de 2014

▪ DATA AUSCULTACIÓ: 22 de Novembre de 2013

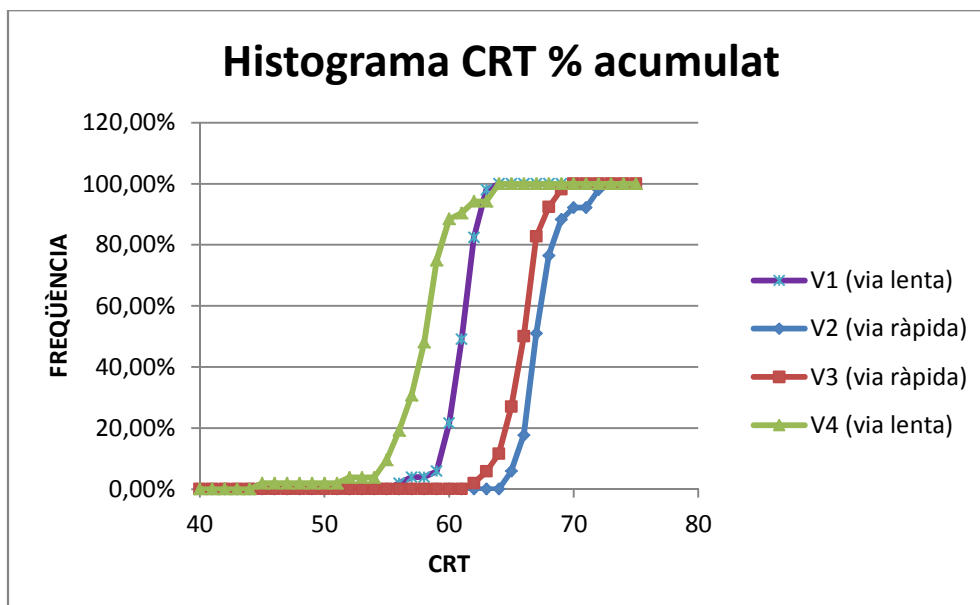


Fig. 4.15 – Histograma del CRT acumulat del 22 de Novembre de 2013

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 13 de Novembre de 2013

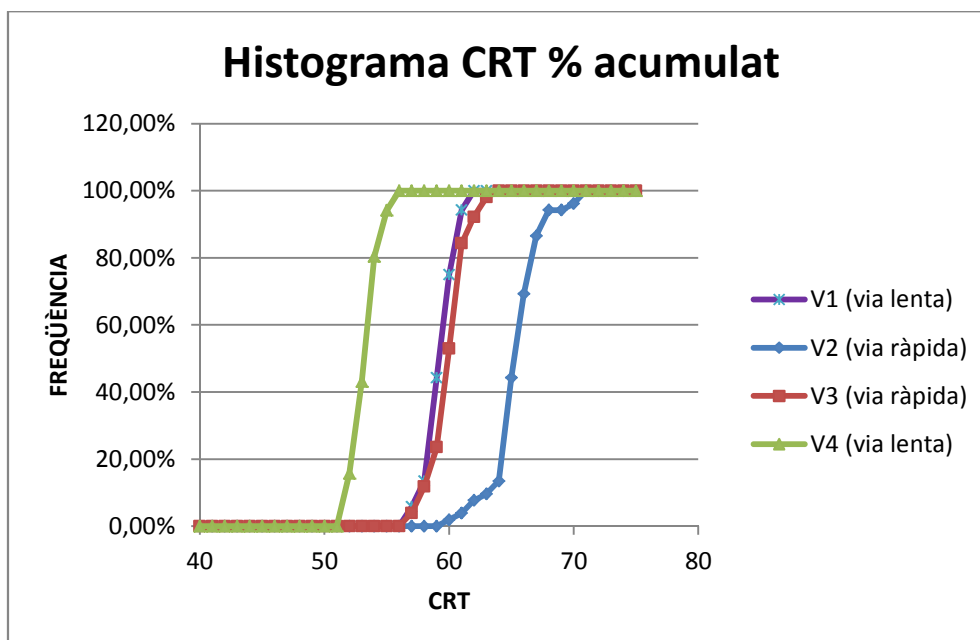


Fig. 4.16 – Histograma del CRT acumulat del 13 de Novembre de 2013

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 de Novembre de 2012

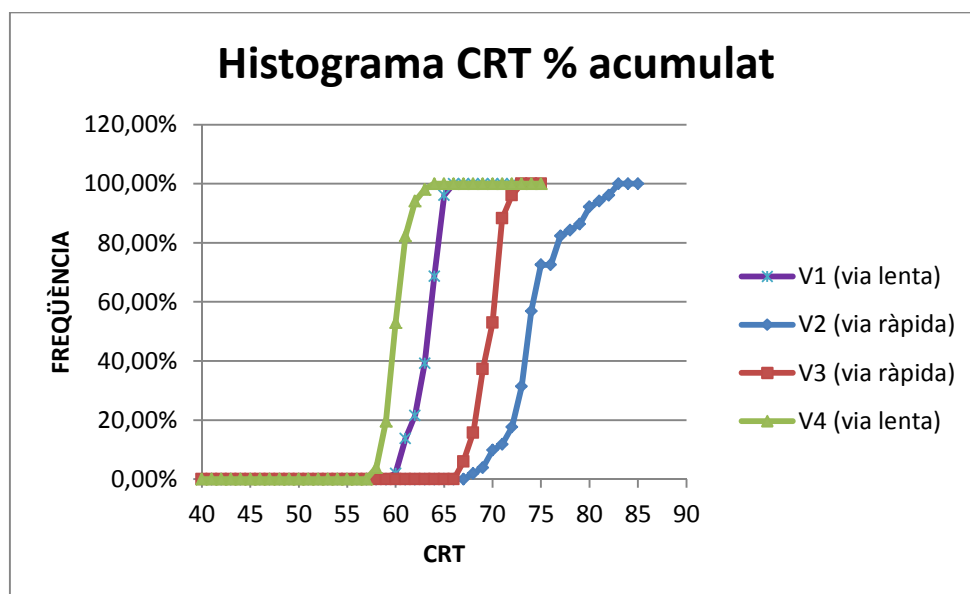


Fig. 4.17 – Histograma del CRT acumulat del 5 de Novembre de 2012

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 d'Octubre de 2011

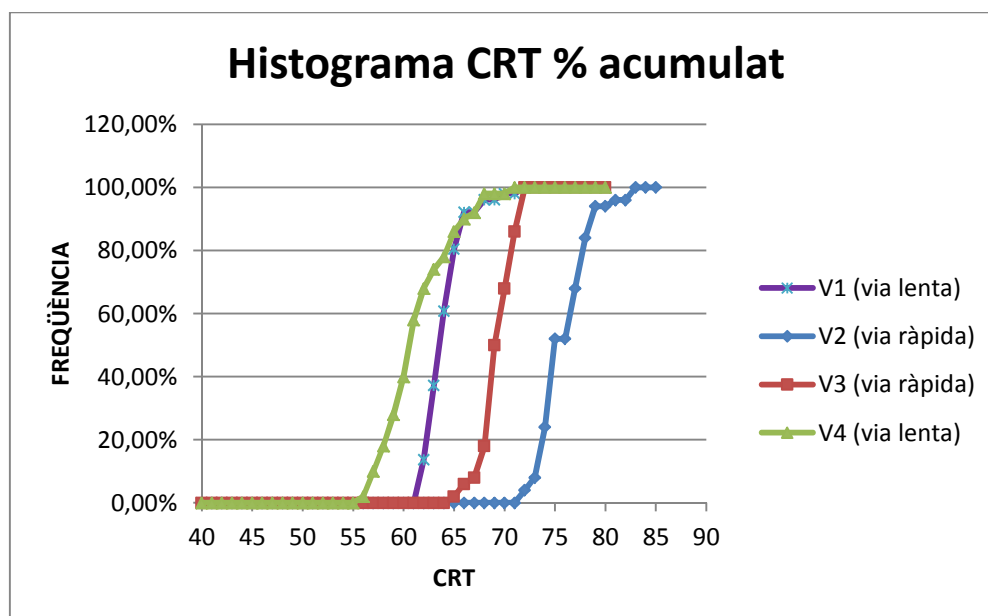


Fig. 4.18 – Histograma del CRT acumulat del 5 d'Octubre de 2011

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 30 de Desembre de 2010

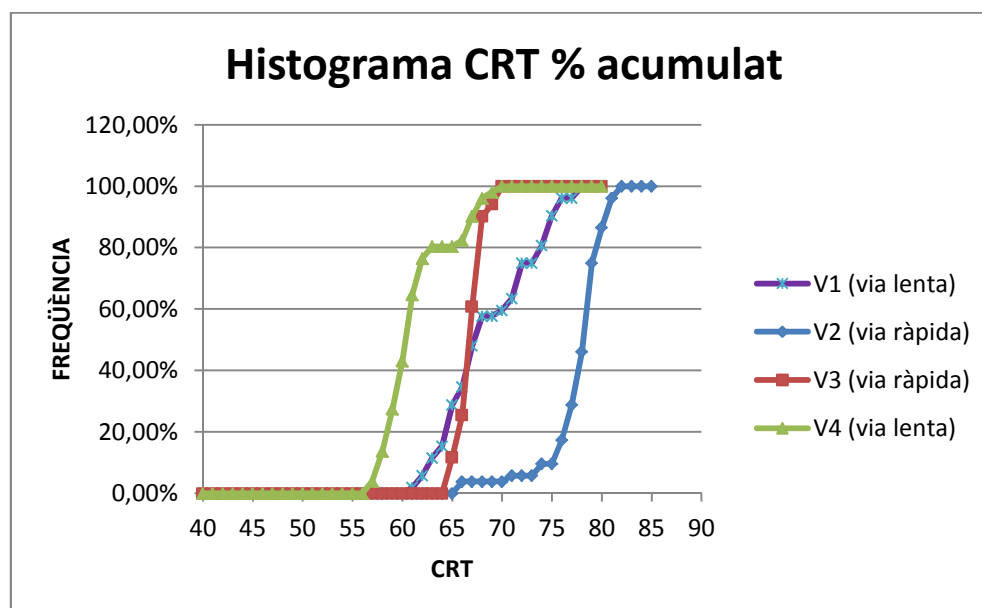


Fig. 4.19 – Histograma del CRT acumulat del 30 de Desembre de 2010

En quan als gràfics de freqüències acumulades realitzats, podem observar que tots els histogrames mostren que el tram analitzat és homogeni en quan a la distribució del CRT ja que les corbes obtingudes són pràcticament verticals i, per tant, denoten que la dispersió és baixa. Aquests histogrames, permeten analitzar totes les mesures registrades en el tram estudiat i no sols apreciar el comportament d'un valor mig o característic.

Per tant, en les auscultacions del 15 d'Abril de 2014, 22 de Novembre de 2013, 13 de Novembre de 2013, 5 de Novembre de 2012 i 5 d'Octubre de 2011, es poden observar clarament les diferències entre les vies ràpides i lentes. En ambdós sentits de circulació, el CRT de la via ràpida sempre és major que el CRT de la via lenta. Sols en l'auscultació portada a terme el dia 30 de Desembre de 2010 s'ha detectat una de les dues vies, la via 1, amb una distribució de valors de CRT que no s'aprecia tan vertical, és a dir, que mostra més heterogeneïtat de resultats i es pot observar que creua la corba de la via ràpida 3 (com es pot observar en la figura 4.19) però sempre mantenint-se per sota dels valors registrats per la via ràpida 2 amb la qual comparteix sentit de circulació.

SEGON TRAM

L'estudi d'aquest segon tram s'ha realitzat, en certa manera, per tal de fer una comprovació que els resultats obtinguts en el primer tram d'estudi siguin coherents i es compleixin també en altres trams de carretera amb les mateixes característiques. S'han calculat les diferents auscultacions seguint el mateix procediment que el primer cas i els resultats obtinguts han estat els següents:

DATA D'AUSCULTACIÓ	CARRIL LENT (VIA 1)	CARRIL RÀPID (VIA 2)	CARRIL LENT (VIA 4)	CARRIL RÀPID (VIA 3)
22 de Novembre de 2013	52.12	52.88	56.98	57.31
13 de Novembre de 2013	46.73	50.18	44.92	51.47
05 d'Octubre de 2011	50.29	55.49	52.27	61.37
14 de Desembre de 2010	60.69	71.41	57.45	73.24

Taula 4.8 – Resultats de CRT de totes les auscultacions i per cada via de circulació (segon tram)

Amb la taula superior també s'observen les mateixes diferències en quan a les vies de circulació, cosa que ens verifica que els resultats obtinguts en el primer estudi són coherents. Tot seguit es representen els gràfics d'aquest tram estudiat en sentit creixent i decreixent de circulació per tal de veure aquest fet gràficament.

➤ SENTIT CREIXENT DE CIRCULACIÓ

- Via 1 (Via lenta)
- Via 2 (Via ràpida)

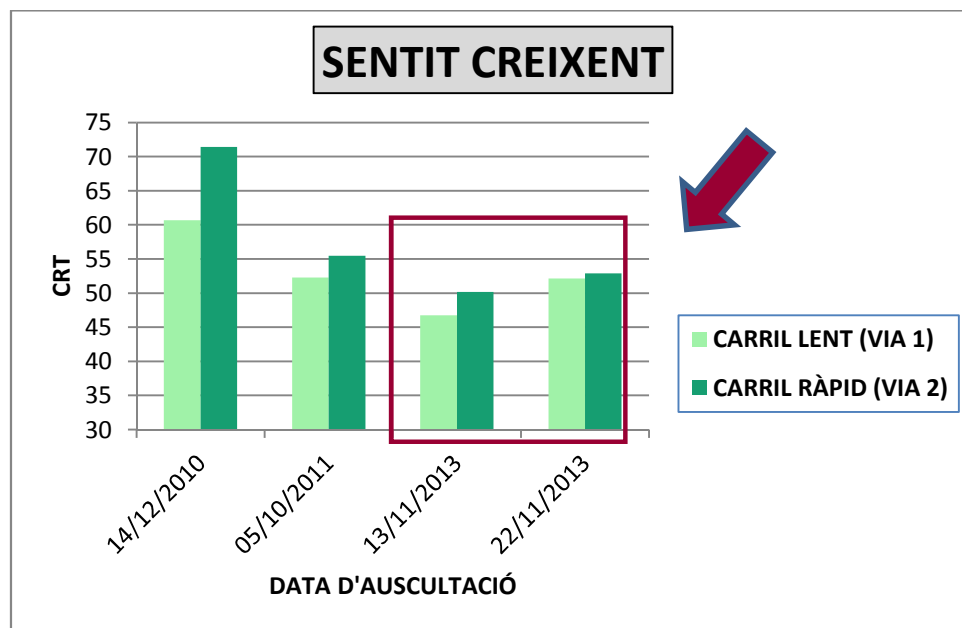


Fig. 4.20 – Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit creixent

La tendència a disminuir del coeficient de fregament transversal es segueix mantenint en aquest cas i les variacions en les dues últimes auscultacions seran analitzades més endavant provocades per l'efecte de la pluviometria.

A continuació es mostren els gràfics evolutius dels dos sentits de circulació.

EVOLUCIÓ COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL EN SENTIT CREIXENT

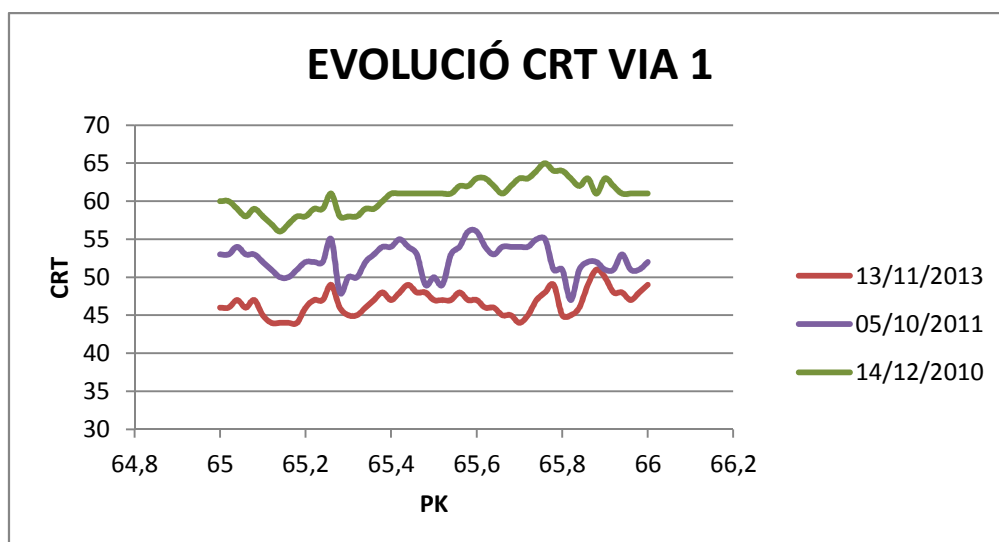


Fig. 4.21 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 1

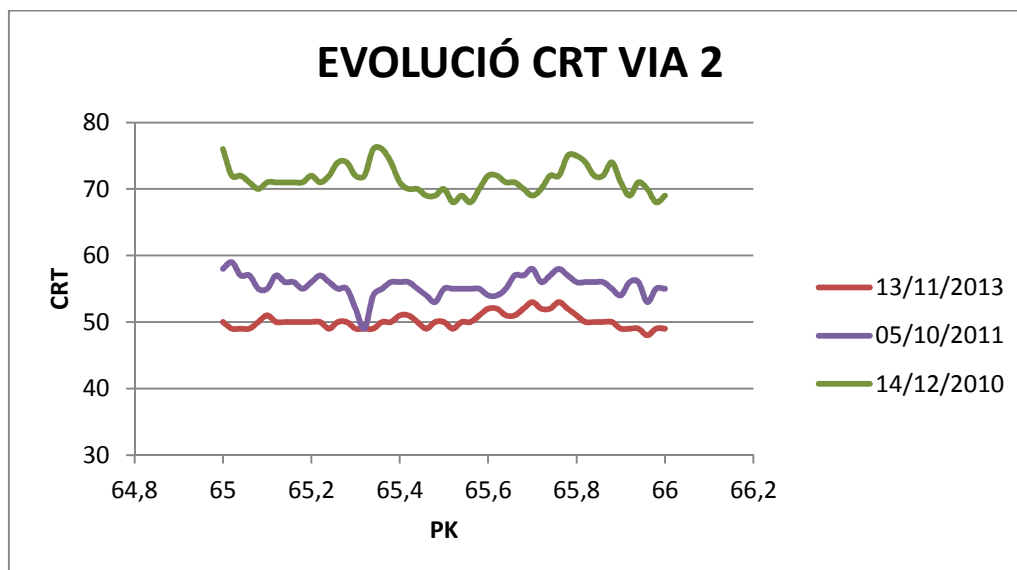


Fig. 4.22 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 2

Es realitza el mateix procediment anterior per pel sentit decreixent de circulació.

➤ SENTIT DECREIXENT DE CIRCULACIÓ

- Via 4 (Via lenta)
- Via 3 (Via ràpida)

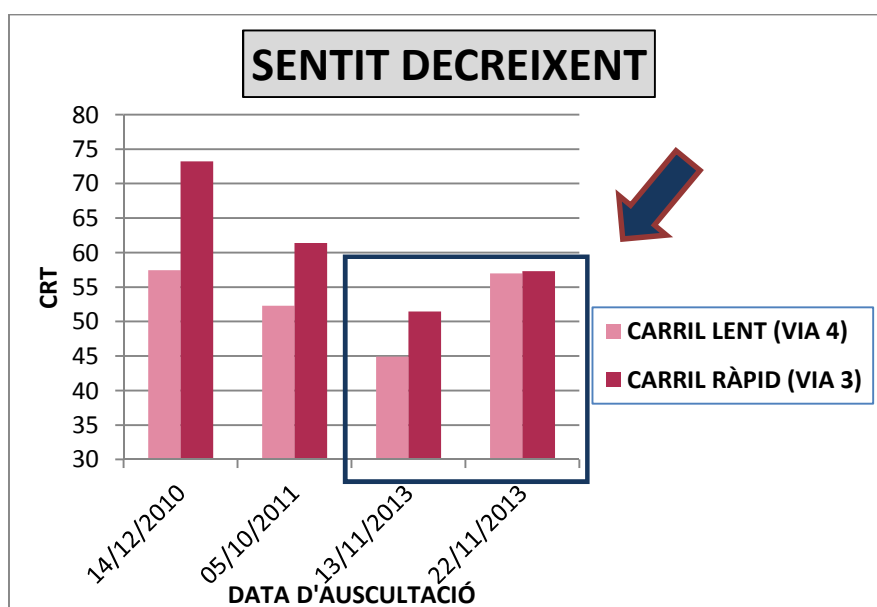


Fig. 4.23 – Gràfic del CRT de les auscultacions en sentit decreixent

El resultat per aquest sentit és exactament el mateix que per el sentit creixent de circulació i tot seguit s'han realitzat els gràfics evolutius de tres auscultacions.

EVOLUCIÓ COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL EN SENTIT **DECREIXENT**

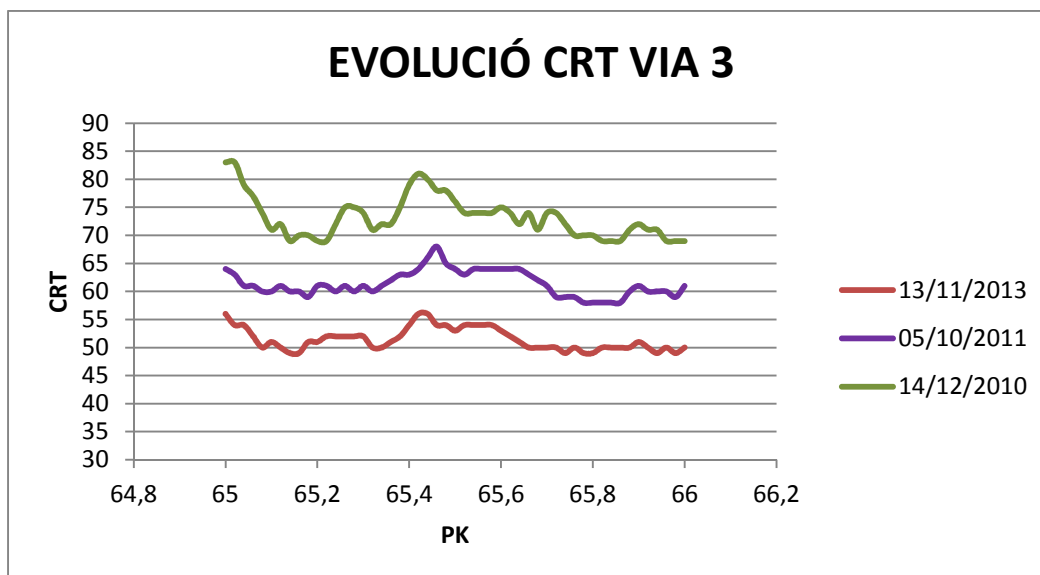


Fig. 4.24 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 3

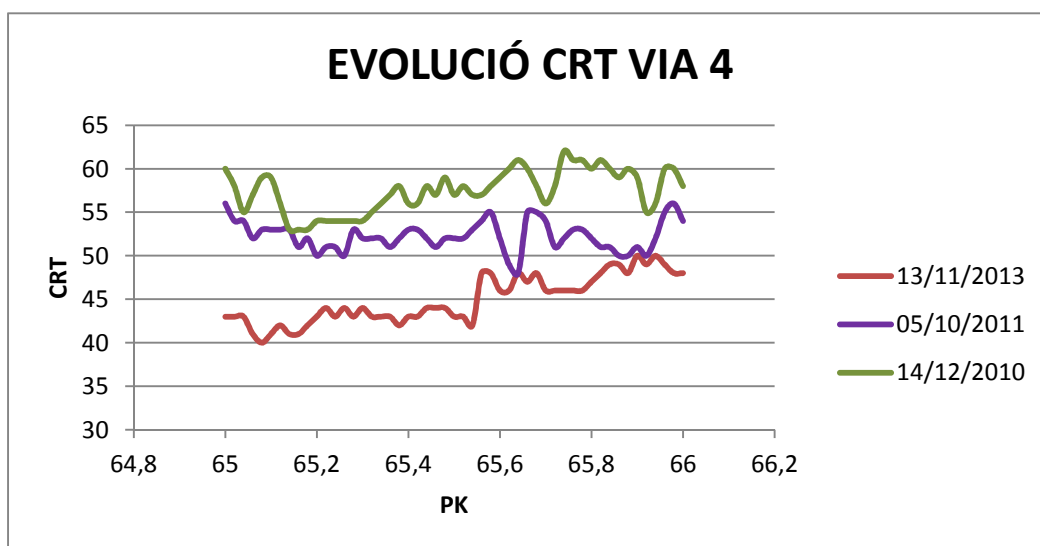


Fig. 4.25 – Gràfic evolutiu del CRT en la via 4

Per tant, mitjançant l'estudi d'aquest segon tram, s'ha pogut obtenir el mateix resultat que per el primer cas en quan a la diferència entre carril ràpid i lent de la carretera estudiada. D'altra banda, la tendència a disminuir del CRT amb el pas del temps també es pot diferenciar en els gràfics anteriors en les auscultacions realitzades al 2010, 2011 i 2013 en les quals els dies anteriors a la mesura del CRT les

precipitacions registrades eren pràcticament nul·les. A continuació es representen els gràfics de les freqüències acumulades com en el primer tram estudiat.

- ✚ Els resultats de les auscultacions en què la pluviometria hi desenvolupava un paper important s'estudien en el següent apartat.

FREQÜÈNCIES ACUMULADES

- DATA D'AUSCULTACIÓ: 22 de Novembre de 2013

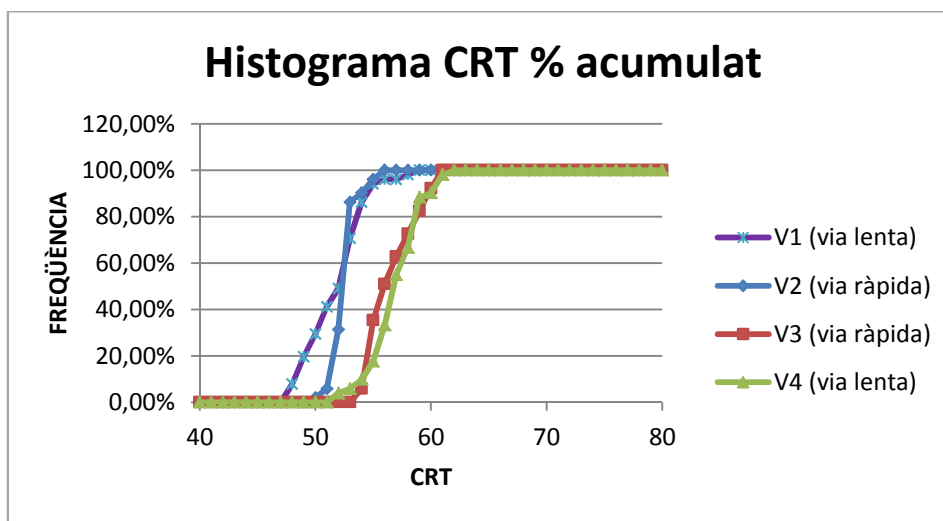


Fig. 4.26 – Histograma del CRT acumulat del 22 de Novembre de 2013

- DATA D'AUSCULTACIÓ: 13 de Novembre de 2013

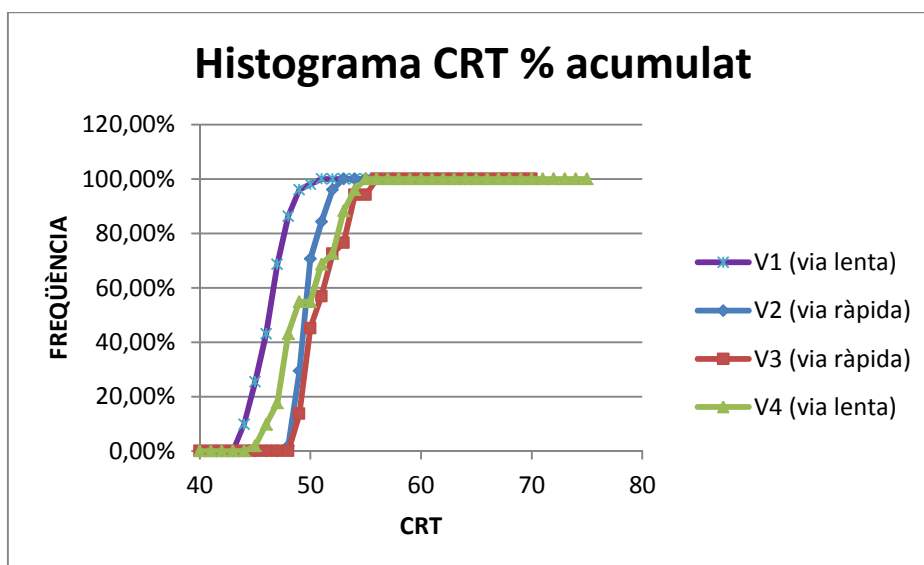


Fig. 4.27 – Histograma del CRT acumulat del 13 de Novembre de 2013

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 d'Octubre de 2011

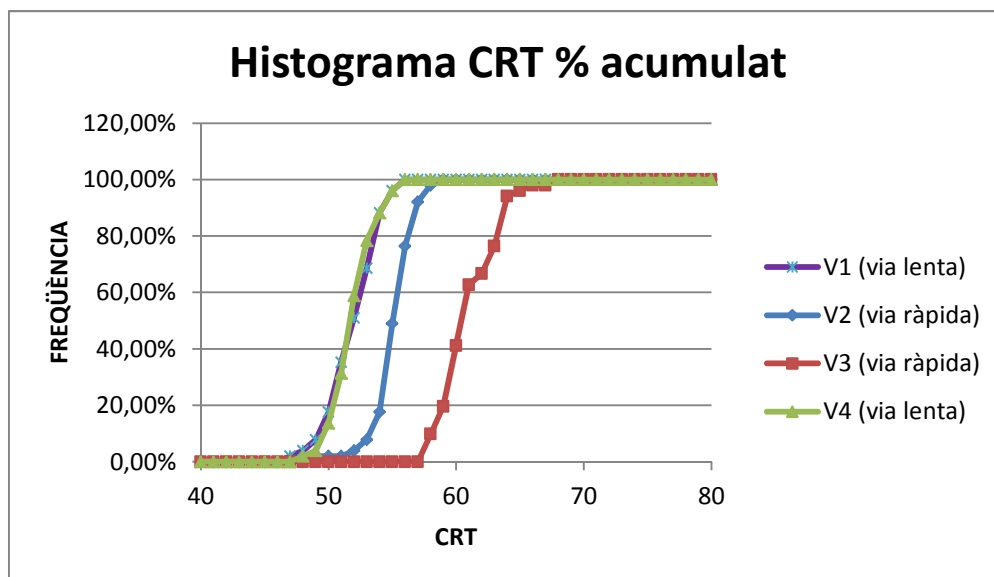


Fig. 4.28 – Histograma del CRT acumulat del 5 d'Octubre de 2011

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 14 de Desembre de 2010

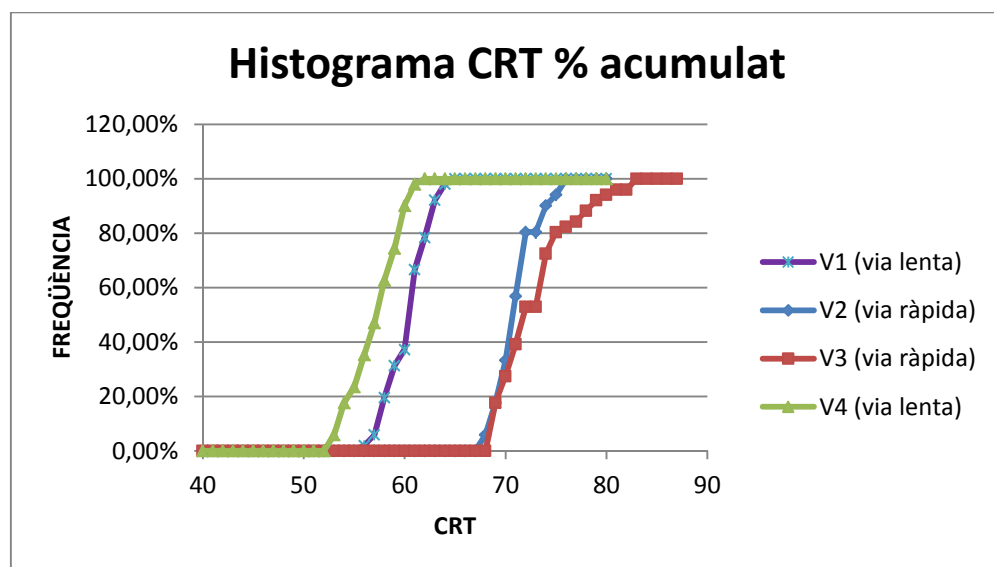


Fig. 4.29 – Histograma del CRT acumulat del 14 de Desembre de 2010

En aquest segon tram estudiat, també es pot observar que els gràfics de freqüències acumulades també ens mostren que es tracta d'un tram homogeni ja que en les quatre auscultacions portades a terme s'han obtingut corbes bastant verticals per les quatre vies de circulació, exceptuant la última realitzada al 14 de Desembre de 2010 on es mostren menys verticals que en la resta de casos.

A més a més, també es mostra una clara diferència entre les vies ràpides i lentes de totes les mesures exceptuant les mesures del 22 i 13 de Novembre de 2013 on hi ha l'encreuament d'algunes vies però, com en el primer tram estudiat, sempre mantenint que les vies ràpides proporcionen valors superiors de CRT que les vies lentes.

4.3.4 ANÀLISI DE LA VARIACIÓ DEL COEFICIENT DE FREGAMENT AMB LA PLUVIOMETRIA

L'efecte la pluviometria sobre el paràmetre del coeficient de fregament transversal ja ha estat estudiat més detalladament en el primer estudi d'aquest projecte però tot i així, s'ha portat a terme un anàlisi en aquest apartat per veure si en els trams estudiats en aquest cas la presència de pluja els dies anteriors a la mesura proporciona un major valor del coeficient de fregament transversal o no.

❖ PRIMER TRAM

En aquest cas ens centrarem en tres auscultacions realitzades i que proporcionaven una major diversitat en quan a la pluviometria obtinguda quinze dies abans de la mesura.

Les dates considerades i els valors de coeficient de fregament transversal mig en el tram d'estudi són les següents, els quals han estat seleccionats en el gràfic corresponent:

DATA D'AUSCULTACIÓ	VIA LENTA (VIA 1)	VIA RÀPIDA (VIA 2)	VIA LENTA (VIA 4)	VIA RÀPIDA (VIA 3)
15 d'Abril de 2014	60.74	66.84	57.30	65.38
22 de Novembre de 2013	61.33	67.78	58.25	66.31
13 de Novembre de 2013	59.67	65.79	53.67	60.33

Taula 4.9 – Resultats de CRT d'auscultacions afectades per la pluviometria (tram 1)

D'altra banda s'ha calculat la precipitació caiguda quinze dies abans de que es portes a terme la mesura del coeficient de fregament transversal i els resultats es mostren en la següent taula. Les dades s'han obtingut d'una estació meteorològica pròxima a la zona d'estudi.

➤ **PRECIPITACIÓ ACUMULADA EN EL PRIMER TRAM D'ESTUDI**

PRECIPITACIÓ ACUMULADA (mm)					
DATA DE MESURA	2 Setmanes abans de la mesura	DATA DE MESURA	2 Setmanes abans de la mesura	DATA DE MESURA	2 Setmanes abans de la mesura
01/04/2014	0.1	08/11/2013	0.0	30/10/2013	0.1
02/04/2014	0.1	09/11/2013	0.0	31/10/2013	0.0
03/04/2014	1.2	10/11/2013	0.0	01/11/2013	0.0
04/04/2014	1.2	11/11/2013	0.0	02/11/2013	0.0
05/04/2014	0.0	12/11/2013	0.0	03/11/2013	0.0
06/04/2014	0.0	13/11/2013	0.0	04/11/2013	0.0
07/04/2014	0.0	14/11/2013	0.0	05/11/2013	0.0
08/04/2014	0.0	15/11/2013	0.0	06/11/2013	0.0
09/04/2014	0.0	16/11/2013	19.2	07/11/2013	0.0
10/04/2014	0.3	17/11/2013	34.6	08/11/2013	0.0
11/04/2014	6.9	18/11/2013	27	09/11/2013	0.0
12/04/2014	0.0	19/11/2013	0.2	10/11/2013	0.0
13/04/2014	0.0	20/11/2013	0.0	11/11/2013	0.0
14/04/2014	0.0	21/11/2013	0.0	12/11/2013	0.0
TOTAL	9.8	TOTAL	81.0	TOTAL	0.1

Taula 4.10 – Pluviometria quinze dies abans a la mesura del CRT (tram 1)

Resumint la informació de la taula superior obtenim que:

- ❖ 15 d'Abril de 2014 → Precipitació acumulada : **9.8 mm**
- ❖ 22 de Novembre de 2013 → Precipitació acumulada : **81.0 mm**
- ❖ 13 de Novembre de 2013 → Precipitació acumulada : **0.10 mm**

Amb tota la informació anterior s'ha representat el següent gràfic per tal de demostrar que a major quantitat de precipitació acumulada els dies anteriors a la mesura, major és el valor del CRT i per tant millor adherència tenim. Tot i que en alguns casos sols s'obtenen petites variacions en el valor d'aquest paràmetre, ens és suficient per observar que es compleix el què realment preteníem obtindre.

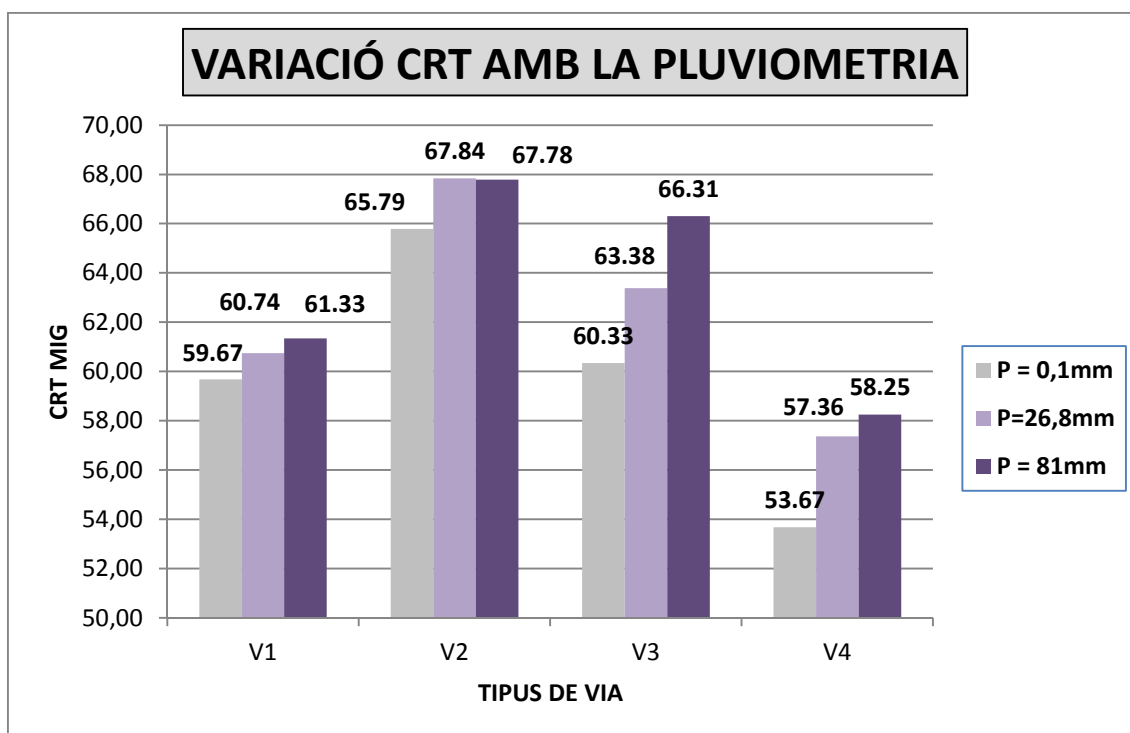


Fig. 4.30 – Relació CRT amb la pluviometria dies abans a la mesura del CRT

De la gràfica anterior podem extreure que realment hi ha un augment del CRT a major quantitat de precipitació. Es mostren majors diferències entre l'auscultació amb major precipitació i la que gairebé la precipitació és nul·la mentre que si comparem les dues dates en què hi ha hagut períodes de pluja importants, no s'observen diferències significatives entre elles i en aquest cas sols ens serveix per confirmar el rellevant paper de la pluviometria en la seguretat vial.

❖ **SEGON TRAM**

En aquest cas s'ha estudiat la pluviometria en les dues últimes dates d'auscultació. Per tal de veure les variacions que es produeixen en una auscultació amb precipitació abundant els dies anteriors a la mesura i una altra en la qual aquesta precipitació és pràcticament nul·la s'ha dut a terme el següent estudi.

Els valors del coeficient de fregament transversal mig per als dos casos i per cada una de les vies es mostren a la següent taula:

DATA D'AUSCULTACIÓ	VIA LENTA (VIA 1)	VIA RÀPIDA (VIA 2)	VIA LENTA (VIA 4)	VIA RÀPIDA (VIA 3)
22 de Novembre de 2013	52.12	52.88	56.98	57.42
13 de Novembre de 2013	46.73	50.18	44.92	51.47

Taula 4.11 – Resultats de CRT d'auscultacions afectades per la pluviometria (tram 2)

La precipitació acumulada quinze dies abans a la mesura del CRT en aquest segon tram estudiat i per les dues dates auscultades considerades és la següent:

➤ **PRECIPITACIÓ ACUMULADA EN EL SEGON TRAM D'ESTUDI**

PRECIPITACIÓ ACUMULADA (mm)			
DATA DE MESURA	2 Setmanes abans de la mesura	DATA DE MESURA	2 Setmanes abans de la mesura
08/11/2013	0	30/10/2013	0
09/11/2013	0	31/10/2013	0
10/11/2013	0	01/11/2013	0
11/11/2013	0	02/11/2013	0
12/11/2013	0.1	03/11/2013	0
13/11/2013	0	04/11/2013	0
14/11/2013	0	05/11/2013	0
15/11/2013	0	06/11/2013	0
16/11/2013	1.2	07/11/2013	0
17/11/2013	32.6	08/11/2013	0
18/11/2013	32.2	09/11/2013	0
19/11/2013	0.1	10/11/2013	0
20/11/2013	0	11/11/2013	0
21/11/2013	0	12/11/2013	0.1
TOTAL	66.2	TOTAL	0.1

Taula 4.12 – Pluviometria quinze dies abans a la mesura del CRT (tram 2)

Per tant, resumint la informació anterior tenim:

- ❖ 22 de Novembre de 2013 → Precipitació acumulada : **66.2 mm**
- ❖ 13 de Novembre de 2013 → Precipitació acumulada : **0.10 mm**

El fet d'analitzar dues dates d'auscultació tan pròximes entre elles com és aquest cas ha permès centrar-nos sols en l'efecte de la pluja i s'han obtingut resultats significatius com s'ha pogut demostrat ja que a major quantitat de precipitació caiguda quinze dies abans de la mesura del CRT s'obtenen valors de coeficient de fregament transversal majors que proporcionen una millor adherència i per tant augment de la seguretat de la via.

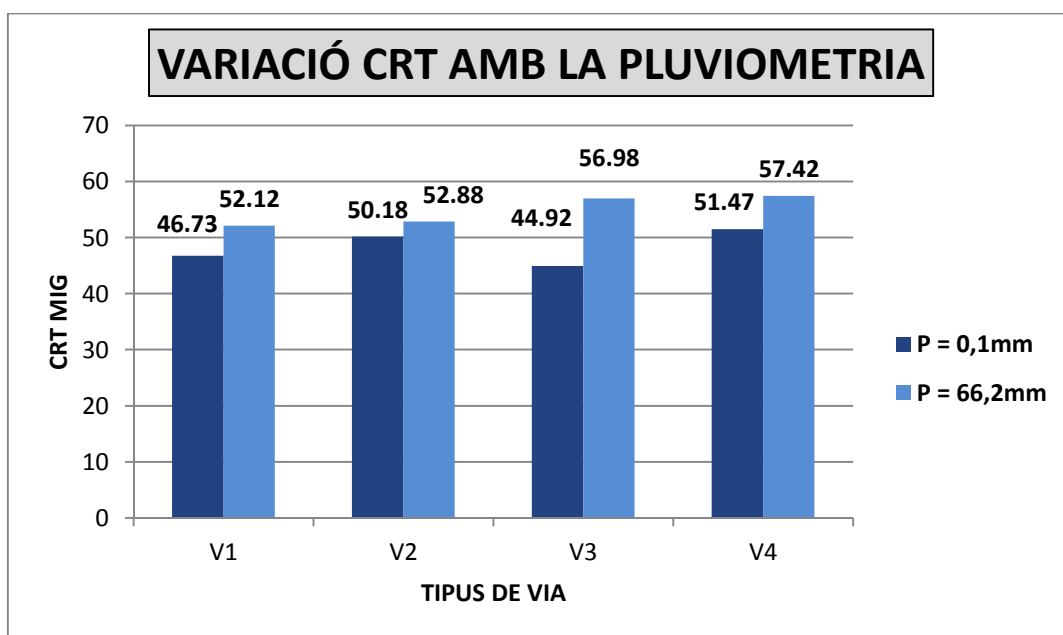


Fig. 4.31 – Relació CRT amb la pluviometria dies abans a la mesura del CRT

4.3.5 CONCLUSIONS

En conclusió, s'ha pogut demostrar que realment un dels factors que adquireix importància en l'anàlisi de la resistència al lliscament és la presència del tràfic en la carretera.

A més a més, degut al major nombre de tràfic pesat en les vies lentes, aquestes posseeixen un menor coeficient de fregament transversal ja que tenen una major pèrdua d'adherència degut al desgast de la capa de rodadura. D'altra banda, a les vies ràpides amb el menor nombre de vehicles pesats permet garantir una millor adherència i per aquest motiu s'ha pogut demostrar en el present projecte que el coeficient de fregament transversal en aquests casos és major que en les altres vies.

A part de la comprovació anterior s'ha pogut observar el deteriorament que pateix la capa de rodadura d'una carretera amb el pas dels anys cosa que implica que la seguretat pels usuaris de les vies també es vegi disminuïda. Per aquest motiu és tan important realitzar auscultacions periòdicament a les carreteres mitjançant equips especialitzats per tal d'anar proporcionant l'adherència adequada i necessària per tal d'evitar situacions perilloses.

En les últimes dates auscultades d'aquest estudi, s'ha pogut relacionar el canvi de tendència que s'havia produït en el coeficient de fregament transversal amb l'efecte de la pluviometria. Tot i que aquest paràmetre s'ha analitzat amb major detall en el primer estudi realitzat, en aquesta part ha permès veure que la variabilitat que presenta el CRT en alguns punts ha estat degut a què els dies anteriors a la mesura d'aquest s'havien registrat períodes de precipitació importants que havien provocat una modificació en el resultat.

En l'annex 5 es mostren els gràfics de l'evolució del CRT en les diferents vies auscultades i per les diverses auscultacions portades a terme amb el pas del temps.

4.4 ESTUDI DE LA INFLUÈNCIA DE LA INTENSITAT DE TRÀFIC EN LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT

4.4.1 OBJECTIU TERCER ESTUDI

L'objectiu d'aquest tercer estudi consisteix en realitzar un anàlisi del valor del coeficient de fregament transversal tenint en compte la influència de la intensitat de tràfic en aquest paràmetre per tal de veure les variacions en quan a la resistència al lliscament que s'obtenen al augmentar o disminuir la intensitat de tràfic.

Per tal de portar a terme aquest estudi s'han considerat tres trams d'estudi d'una mateixa carretera convencional de dos carrils en cada sentit de circulació i s'ha realitzat l'auscultació de les quatre vies d'aquests trams aquest mateix any. El resultat a obtenir hauria de ser que a major intensitat de tràfic, al tenir lloc un major desgast de la capa de rodadura, el valor del coeficient de fregament transversal hauria de ser menor que en els trams en els quals la intensitat de tràfic fos menor els quals proporcionarien una millor adherència entre paviment i pneumàtic.

4.4.2 CARACTERÍSTIQUES DELS TRAMS OBJECTE D'ESTUDI

En aquest cas s'han tingut en compte tres trams diferents d'una mateixa carretera convencional les longituds dels quals han estat 1.000 metres en cada un d'ells.

Els trams considerats formen part de la província de Barcelona.

L'auscultació dels diferents trams d'estudi s'ha portat a terme el mateix dia: 15 d'Abril de 2014. El valor de la intensitat de tràfic i del percentatge de vehicles pesats de cada un dels trams avaluats es mostra en la següent taula:

TRAM AUSCULTAT	INTENSITAT DE TRÀFIC (vehicles/dia)	% VEHICLES PESATS
Tram 1	82.095	8,36%
Tram 2	52.368	7,77%
Tram 3	30.028	6,87%

Taula 4.13 – Intensitat de tràfic i percentatge de vehicles pesats dels trams auscultats

4.4.3 ANÀLISI DE LA INFLUÈNCIA DE LA INTENSITAT DE TRÀFIC EN EL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL

La intensitat de tràfic adquireix un paper important en les variacions que es poden ocasionar en el valor del coeficient de fregament transversal d'una carretera ja que la presència d'una major quantitat de vehicles provoca un major desgast i com a conseqüència té lloc una disminució de l'adherència entre els pneumàtics i el paviment. Aquesta disminució es manifesta amb un menor valor del coeficient de fregament transversal cosa que comporta un menor seguretat als usuaris de les vies.

Tot seguit es mostren els resultats obtinguts de cada una de les quatre vies dels tres trams analitzats:

VIA	TIPUS DE VIA	CRT MIG		
		IMD= 82,095	IMD=52,368	IMD=30,028
V1	LENTA	45.68	49.44	60.74
V2	RÀPIDA	44.86	46.88	67.84
V3	RÀPIDA	44.86	45.33	63.38
V4	LENTA	47.64	50.25	57.36

Taula 4.14 – Valors de CRT per cada una de les vies dels tres trams analitzats

Observant detalladament la taula superior, es pot veure que quan la intensitat de tràfic és elevada com passa en el primer dels tres trams analitzats, no es pot extreure la mateixa conclusió que havíem obtingut en el segon estudi portat a terme en el qual el coeficient de fregament transversal de les vies ràpides era major que el de les vies lentes, degut a què el percentatge de vehicles pesats, en molts dels casos, no només circula per les vies lentes sinó que també es troba a les vies ràpides i aquest fet ocasiona que el desgast de la capa de rodadura que pot haver-hi a les vies lentes també pugui ser-hi a les vies ràpides.

En aquest cas però, tenint en compte el què s'acaba de comentar, s'ha procedit a l'anàlisi de les diferents vies dels tres trams auscultats tenint present les diferents intensitats de tràfic de cada un d'ells i tot seguit es representa el gràfic amb tota la informació obtinguda:

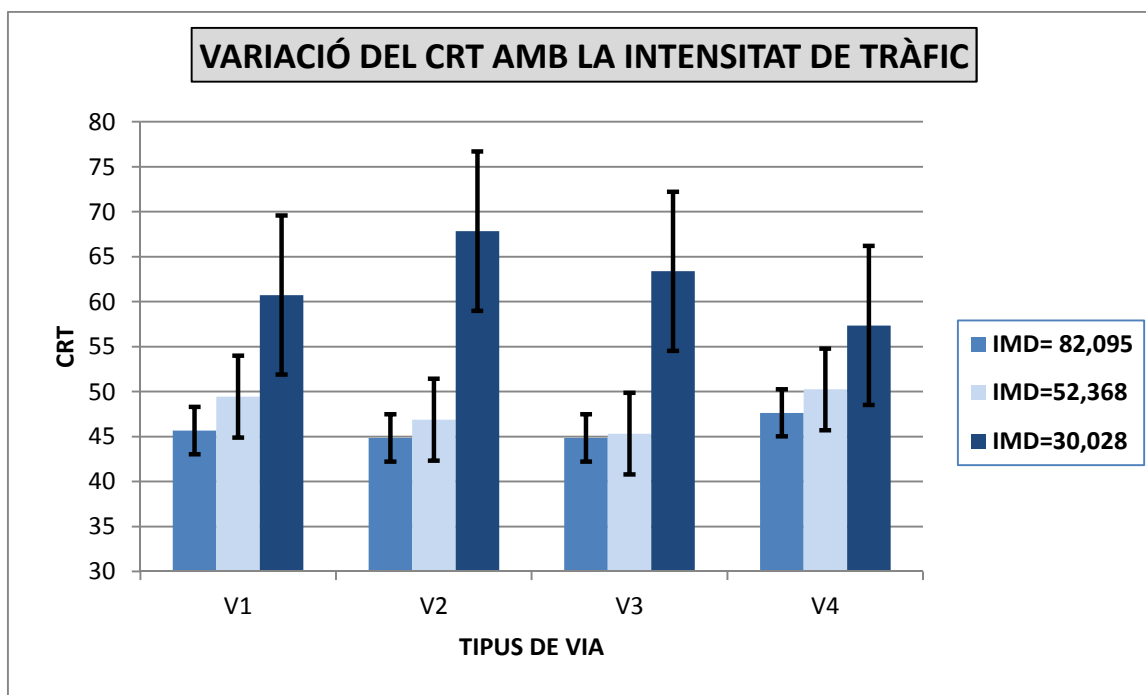


Fig. 4.32 – Relació CRT amb les diferents intensitats de tràfic

En el gràfic superior s'han representat els valors de les desviacions típiques per tal de poder concloure si els resultats obtinguts poden ser representatius o no.

s'han calculat els següents paràmetres estadístics:

- Desviació estàndard
- Coeficient de variació (COV)

	IMD= 82,095	IMD=52,368	IMD=30,028
PROMITG CRT	45.76	47.98	62.33
DESVIACIÓ TÍPICA	1.31	2.27	4.42
COV	2.87	4.74	7.10
1,96*DESVIACIÓ	2.57	4.46	8.67
MEDIA + 1,96*DESVIACIÓ	48.33	52.43	71.00
MEDIA - 1,96*DESVIACIÓ	43.19	43.52	53.66

Taula 4.15 – Paràmetres estadístics calculats

Els valors de “PROMITG $\pm 1,96 \cdot \text{DESVIACIÓ}$ ” corresponen als límits de les línies representades en cada una de les barres que aparèixen al gràfic. El motiu de realitzar aquesta operació permet apreciar tots els resultats de la mostra en un interval de confiança del 95%.

Per tant, observant el gràfic podem veure que els valors referents a les intensitats de tràfic de 82,095 i 30,028 esdevenen mostres representatives al tenir dades més homogènies, mentre que la intensitat de tràfic de 52,368 no ens proporciona resultats que puguin esdevenir significatius.

Tot seguit es mostra el mateix gràfic representat anteriorment però sols centrat en les dues intensitats de tràfic que han adquirit major rellevància i que han permès obtenir uns resultats satisfactoris.

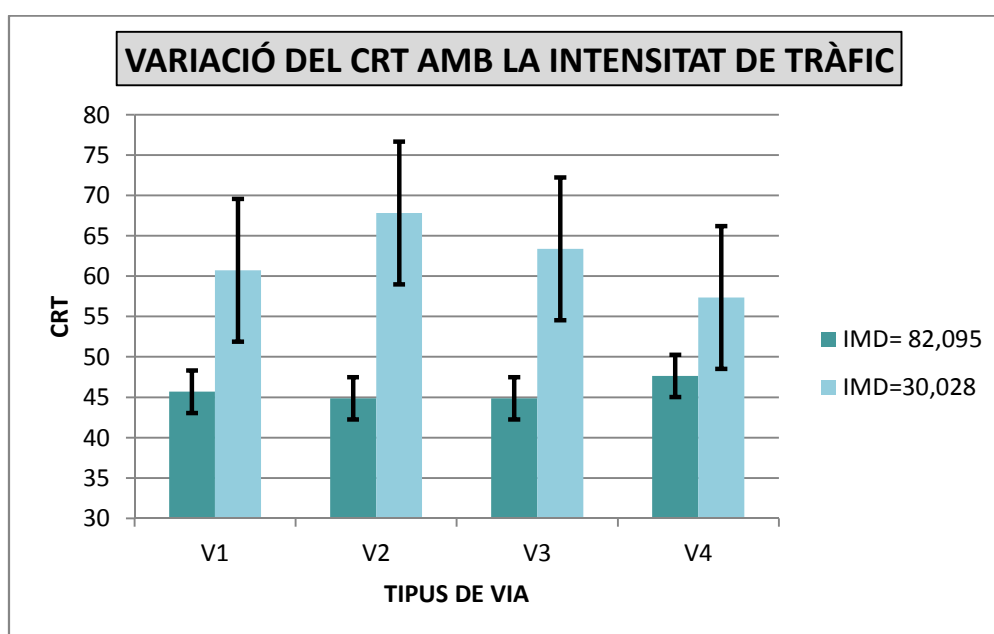


Fig. 4.33 – Relació CRT amb dues intensitats de tràfic

En concret es pot veure que l’auscultació de les quatre vies que formen part del tram amb menor intensitat de tràfic posseeixen un valor de CRT molt superior als altres dos trams.

El fet d’haver realitzat l’anàlisi dels tres trams al mateix dia i a més a més els trams considerats són molt propers, ens permet tenir en compte sols l’efecte de la intensitat de tràfic i no l’efecte que podria ocasionar al tenir variacions climàtiques o estacionals diverses.

4.4.4 CONCLUSIONS

En relació aquest estudi, ha estat possible obtenir resultats significatius en quan a la influència de la intensitat de tràfic sobre la resistència al lliscament. En aquest anàlisi dels tres trams de carretera amb diferents intensitats, s'ha pogut observar la tendència a disminuir de la resistència al lliscament a mesura que s'anava augmentant la intensitat i en concret amb la presència d'un major percentatge de vehicles pesats com s'ha pogut demostrar.

En la comparació de la intensitat major i menor els resultats han mostrat amb molta més claredat les diferències obtingudes en el valor del coeficient de fregament transversal d'aquests dos trams mentre que quan s'ha afegit la intensitat de tràfic intermitja, les variacions no han estat tan importants, fet que s'ha mostrat en els gràfics representats anteriorment.

En l'annex 6 es mostren els valors de CRT i macrotextura dels tres trams auscultats en aquest estudi.

4.5 ESTUDI D'ALTRES CONDICIONANTS EN LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT D'UN PAVIMENT ASFÀLTIC

4.5.1 OBJECTIU QUART ESTUDI

L'objectiu d'aquest quart estudi consisteix en analitzar dos factors més apart dels ja analitzats en els anteriors apartats, per tal de veure la seva incidència en la resistència al lliscament d'un paviment asfàltic i poder observar l'evolució del CRT davant aquests dos paràmetres.

Els dos factors que s'han analitzat han estat els següents:

- Temperatura
- Evolució de la resistència al lliscament davant estructures cobertes.

4.5.2 TEMPERATURA

Com ja s'ha comentat en el contingut teòric del treball sobre la temperatura, hi ha diversos factors que influeixen en la resistència al lliscament d'un paviment. La temperatura és un dels factors que suposadament incideix sobre aquest paràmetre. Tot i així, molts investigadors intenten quantificar l'efecte de la temperatura sobre un paviment asfàltic però a dia d'avui, no se n'ha obtingut cap conclusió representativa.

A continuació es mostra un anàlisi de dos trams de carretera, un amb major tràfic i l'altre amb menor tràfic els quals s'han mesurat a diferents hores diàries amb l'objectiu de poder-ne observar l'evolució del coeficient de fregament transversal amb la variació de la temperatura de l'aire. A més a més, les dates en què es van realitzar les auscultacions no es van detectar períodes de precipitació importants cosa que va permetre eliminar el possible efecte de la pluviometria que hagués tingut en els resultats a obtenir.

❖ PRIMER TRAM

Aquest primer tram correspon a un tram situat a la província de Barcelona el qual posseeix poc trànsit. La intensitat de tràfic és de 11,627 vehicles/dia i el percentatge de vehicles pesants és de 3,01%. El tram analitzat ha estat de 1.000 metres i s'ha realitzat l'auscultació d'aquest tram a primera hora del matí i al migdia per tal de

poder veure les variacions de la resistència al lliscament amb el canvi de temperatura entre aquestes dues franges horàries.

Els resultats d'aquest primer tram objecte d'estudi es mostren tot seguit:

- MATÍ → $CRT_{MIG} = 62.96$
 $TEMPERATURA_{MITJA AIRE} = 13.67\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $TEMPERATURA_{MITJA PAVIMENT} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$

- MIGDIA → $CRT_{MIG} = 57.65$
 $TEMPERATURA_{MITJA AIRE} = 36.24\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $TEMPERATURA_{MITJA PAVIMENT} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

A continuació es mostra l'evolució del coeficient de fregament transversal en el recorregut analitzat:

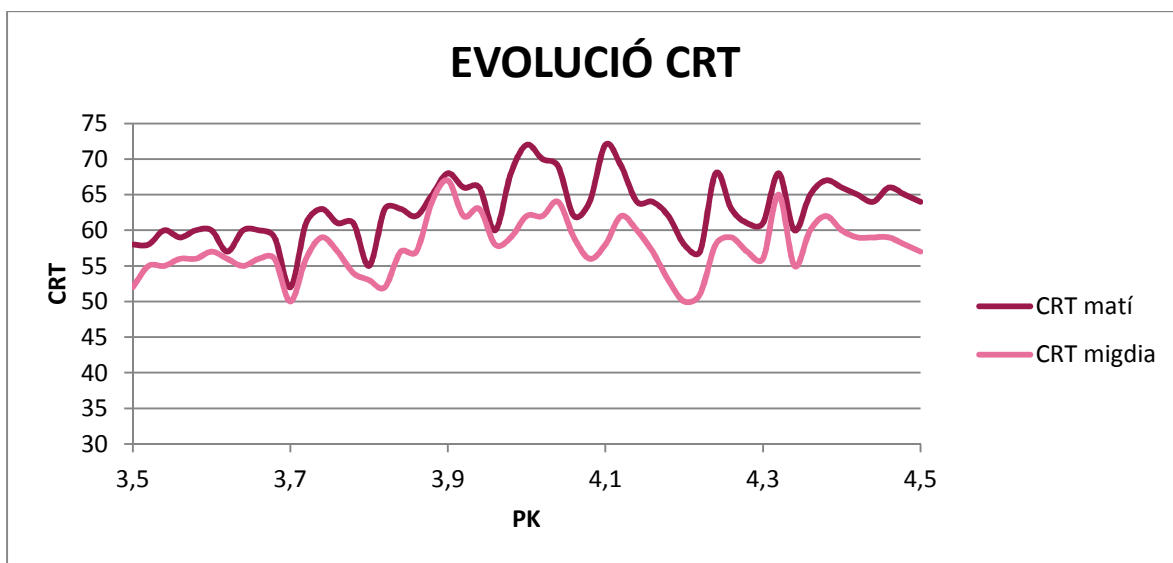


Fig. 4.34 – Evolució del CRT amb el canvi de temperatura (tram amb poc tràfic)

En aquest cas podríem dir que la temperatura de l'aire sí que influeix en la variació de la resistència al lliscament ja que l'auscultació realitzada a primera hora del matí proporciona valors més elevats que l'auscultació del migdia. Tot així s'hauria de realitzar en un gran nombre de trams per tal de poder-ne extreure conclusions més representatives. A més a més, s'hauria de portar a terme en diferents intensitats de tràfic per tal de veure si aquesta variació obtinguda en el CRT només s'obté quan es disposa de poc tràfic com passa en aquest cas. El valor del coeficient de fregament transversal en cada un dels punts del quilòmetre analitzat es mostra al l'annex 7 del treball.

Aquest ha estat l'estudi realitzat en la carretera de poc trànsit. En el següent apartat es mostren els resultats en el tram amb major tràfic per tal de veure'n la influència en aquest segon cas.

❖ SEGON TRAM

Aquest segon tram també es troba situat a la província de Barcelona i la longitud auscultada és de 1.200 metres. La intensitat diària de tràfic és de 21,624 i el percentatge de vehicles pesats és de 18,33%. S'han realitzat les auscultacions a les mateixes hores que el cas anterior i els resultats obtinguts són els següents:

- MATÍ → $CRT_{MIG} = 51.29$
 $TEMPERATURA_{MITJA AIRE} = 13.03\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $TEMPERATURA_{MITJA PAVIMENT} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$
- MIGDIA → $CRT_{MIG} = 49.95$
 $TEMPERATURA_{MITJA AIRE} = 37.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $TEMPERATURA_{MITJA PAVIMENT} = 26^{\circ}\text{C}$

En aquest cas el coeficient de fregament mig del tram analitzat també és superior en la auscultació duta a terme al matí tot i que la diferència entre elles és molt menys significativa. Per veure aquest fet gràficament en tota la longitud s'ha representat el següent gràfic en el qual es mostra una homogeneïtat en els resultats obtinguts i la diferència tan clara que teníem en el primer cas, aquí no s'hi mostra.

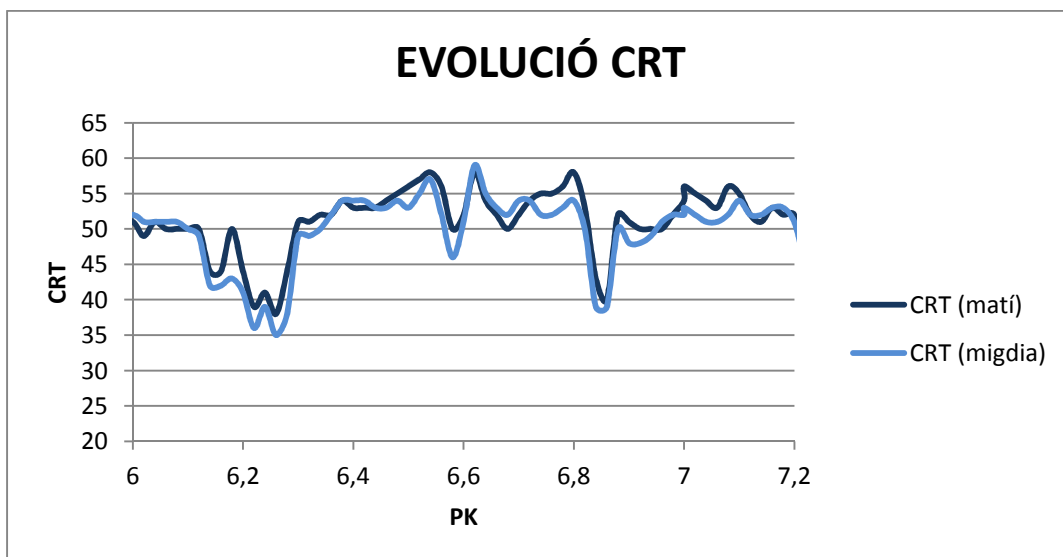


Fig. 4.35 – Evolució CRT amb el canvi de temperatura (tram amb molt tràfic)

A partir dels estudis realitzats anteriorment, no se'n pot obtenir cap conclusió respecte l'efecte de la temperatura ja que, com s'ha explicat, hi ha diversos condicionants que s'haurien de tenir en compte en l'estudi d'aquest paràmetre com serien la temperatura del paviment, del pneumàtic i de l'aire entre altres. En posteriors estudis, s'hauria de realitzar diferents auscultacions en vies amb diverses característiques de tràfic i de tipus de mescla bituminosa per tal de poder anar descartant aquells factors els quals incideixen de manera no significativa en la resistència al lliscament d'un paviment asfàltic.

4.5.3 EVOLUCIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT DAVANT ESTRUCTURES COBERTES

Quan parlem d'estructures cobertes com seria el cas de túnels, el deteriorament de la resistència al lliscament de l'asfalt es produeix amb una major rapidesa que en la resta de trams que estan en contacte amb l'aire directament. El motiu d'aquest fet és que tots aquells trams situats fora estructures cobertes per l'efecte del vent, pluja...permet l'eliminació de contaminants que es van dipositant sobre la superfície i per tant garantir una millor resistència al lliscament. Per altra banda, a l'interior dels túnels, aquest material contaminant es va dipositant a les parets o sobre la superfície de rodadura afectant negativament a l'adherència.

Amb l'ajuda d'equips especialitzats es netegen periòdicament les parets però el cas dels paviments és més delicat en quan a l'eliminació dels contaminants de la superfície. Existeixen diferents mètodes per realitzar aquesta operació però sols són aplicables en períodes de curta durada.

Les carreteres en general, han d'estar dotades del nivell de neteja òptim per tal de proporcionar les millors condicions als usuaris. Una carretera que tingui una mala neteja de la capa de rodadura, provocarà un menor contacte entre els àrids i els pneumàtics d'un vehicle que circulin per ella i per tant la resistència al lliscament d'aquesta serà inferior.

De totes formes és un paràmetre molt difícil de detectar i més de solucionar ja que en molts casos les carreteres poden estar situades prop d'altres trams que estiguin sense pavimentar o bé amb la presència de tràfic agrícola i que per tant dificultin un adequat manteniment de la neteja de les carreteres. En aquest estudi, la baixa capacitat d'adherència que s'obté als túnels és degut a la presència de contaminants que, al tractar-se d'una estructura tancada, provoca un augment d'aquesta brutícia i que es pot arribar a ocasionar alguna situació perillosa [3].

Tot seguit es mostren els resultats que s'han obtingut de dos túnels auscultats on es demostra aquesta decaiguda del coeficient de fregament transversal just al tram on

s'hi troben els túnels. Es mostra la fotografia de l'entrada/sortida del túnel i tot seguit el gràfic del CRT per veure aquests canvis comentats. En el segon cas, al tractar-se d'un túnel de menor longitud sols s'ha representat un gràfic com es pot observar.

❖ **PRIMER TÚNEL:** Túnel de major longitud

- VARIACIÓ COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL A L'ENTRADA DEL TÚNEL



Fig. 4.36 – Imatge entrada primer túnel

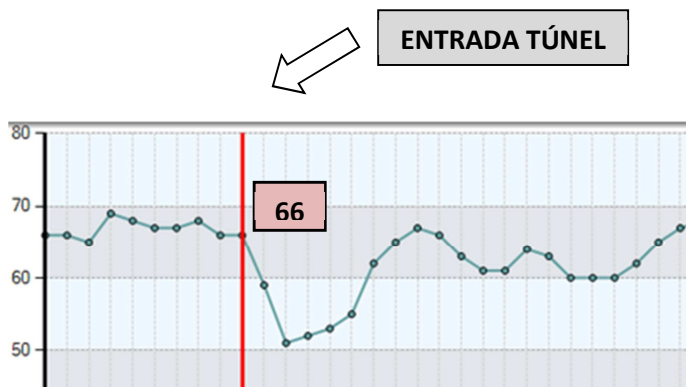


Fig. 4.37 – Recorregut del CRT a l'entrada del primer túnel

A continuació es mostren els valors a l'entrada i sortida del túnel per tal d'observar la diferència en el CRT degut a la presència d'estructures cobertes com seria aquest cas. Tots els valors del coeficient de fregament transversal de dins el túnel es mostren en els annexes corresponents.

ENTRADA DEL TÚNEL

Distancia	C.R.T.	TEXTURA
0,02	66	1,04
0,04	59	1,09
0,06	51	1,11
0,08	52	1,08

Taula 4.16 – Valors de CRT a l'entrada del primer túnel

- VARIACIÓ COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL A LA SORTIDA DEL TÚNEL



Fig. 4.38 – Imatge sortida primer túnel

Fig. 4.39 – Recorregut del CRT a la sortida del primer túnel

SORTIDA DEL TÚNEL

Distancia	C.R.T.	TEXTURA
1,64	68	1,09
1,66	68	1,05
1,68	74	0,96
1,7	78	1,04

Taula 4.17 – Valors de CRT a la sortida del primer túnel

❖ **SEGON TÚNEL:** Túnel de menor longitud

- VARIACIÓ COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL A L'ENTRADA I SORTIDA DEL TÚNEL



Fig. 4.40 – Imatge entrada segon túnel



Fig. 4.41 – Imatge sortida segon túnel

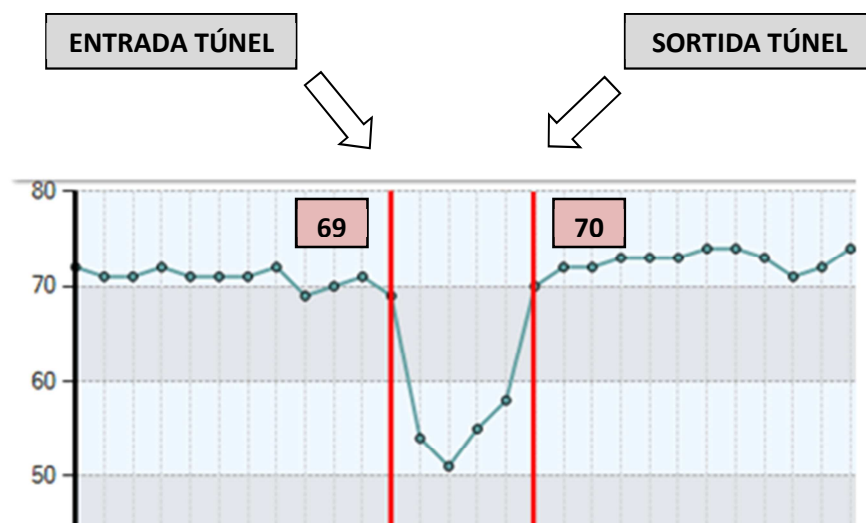


Fig. 4.42 – Recorregut del CRT a l'entrada i sortida del segon túnel

Tot seguit es mostren els valors del coeficient de fregament transversal en tota la longitud del túnel.

Distancia	C.R.T.	TEXTURA
0,02	69	1,01
0,04	54	1,16
0,06	51	1,18
0,08	55	1,14
0,1	58	1,2
0,12	70	1,04

Taula 4.18 – Valors de CRT en tota la longitud del segon túnel

4.5.4 CONCLUSIONS

En conclusió, mitjançant aquest quart estudi s'ha observat que l'efecte de la temperatura en la resistència al lliscament esdevé un tema important a ser estudiat i analitzat ja que depèn de varis factors cosa que implica realitzar diverses auscultacions a diferents trams de carretera amb característiques diferents per tal de poder-ne extreure conclusions significatives. Tal i com s'ha comentat, és un paràmetre que a dia d'avui encara no s'ha obtingut cap resultat representatiu tot i ser investigat per experts del món de l'auscultació de carreteres.

En l'annex 7 del present treball es mostren tots els valors de CRT i macrotextura en les auscultacions portades a terme en els dos trams estudiats i tenint en compte les dues franges horàries considerades.

D'altra banda, l'estudi centrat en la presència d'estructures cobertes ha permès veure una variabilitat en quan als valors del coeficient de fregament transversal que s'obtenen quan ens trobem dintre estructures cobertes com ha estat els túnels en aquest cas. Aquestes variacions són degut a la presència de contaminants sobre la capa de rodadura ja que al tractar-se d'estructures cobertes no es troben en contacte directe amb l'aire i per tant el paviment no es neteja tan fàcilment com les zones que es troben a l'aire lliure. Tot i així, aquest estudi ha permès verificar la importància que presenten els contaminants situats sobre la capa de rodadura en quan a la resistència al lliscament.

CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS

La resistència al lliscament és una de les característiques superficials de major rellevància en un paviment asfàltic en quan a proporcionar una correcta i adequada seguretat vial. Realitzar auscultacions periòdicament a les carreteres és de gran importància per tal de comprovar si aquestes posseeixen una capa de rodadura en bon estat i així evitar situacions perilloses i reduir al màxim el nombre d'accidents degut a les males condicions del paviment.

Com s'ha pogut observar, la resistència al lliscament esdevé un paràmetre que presenta una gran variabilitat degut als múltiples factors que afecten i condicionen el seu valor. La realització d'aquest projecte ha permès veure alguns d'aquests factors i obtenir resultats significatius al respecte ja que en la majoria dels factors estudiats se n'ha pogut extreure'n conclusions.

S'ha comprovat que la variació estacional provoca modificacions en els resultats de la resistència al lliscament i que presenta valors màxims a l'hivern i mínims a l'estiu. Per tant, en funció de l'època de l'any en la qual es porten a terme les auscultacions, el resultat del coeficient de fregament transversal serà diferent. D'altra banda, es va exposar en un altre projecte que era necessari realitzar un estudi sobre la influència de la resistència al lliscament en diferents carrils d'una mateixa carretera per tal d'estudiar la distribució del tràfic pesat en aquests carrils [2] i és el què s'ha realitzat en aquest projecte on s'ha pogut observar les variacions de la resistència al lliscament en funció del carril pel qual es circula ja que a major percentatge de tràfic pesat, major desgast pateix la capa de rodadura i menor resistència proporciona. A més a més d'aquesta variació entre vies de circulació, s'ha pogut comprovar una degradació de la capa de rodadura amb el pas del temps degut als diferents condicionants que incideixen sobre aquesta.

D'altra banda, també s'ha vist que s'ha obtingut els resultats que s'esperaven en quan a la variació de la resistència al lliscament en funció de la intensitat de tràfic mitjançant l'anàlisi de tres trams amb diferents condicions de tràfic i la conclusió ha estat que a major intensitat de tràfic té lloc una disminució de la resistència al lliscament pel desgast de la capa de rodadura.

Finalment, com ja s'ha anat comentant en tot el projecte, l'efecte de la temperatura és difícil de quantificar degut a la gran diversitat de factors que influeixen en aquest paràmetre i encara avui en dia, és estudiat i analitzat el seu efecte sobre les variacions de temperatura en la resistència al lliscament. En canvi, la presència d'estructures

cobertes ha resultat un cas interessant d'estudiar ja que s'ha pogut observar clarament que els contaminants en contacte amb la capa de rodadura provoquen una pèrdua d'adherència cosa que no passa en la resta de trams que es troben en contacte directe amb l'aire lliure com ha estat analitzat en aquesta tesina.

Per tant, a partir de les conclusions exposades anteriorment, s'ha verificat que els objectius inicialment plantejats s'han portat a terme correctament i al mateix temps, l'elaboració d'aquest treball, ha permès veure la variabilitat de la resistència al lliscament. És de gran importància tenir coneixement sobre l'evolució de les carreteres per tal de poder seguir investigant sobre aquest paràmetre cosa que ens permetrà disposar d'una xarxa viària dotada de la màxima seguretat i comoditat possible en un futur.

Tot seguit, s'ha considerat necessari enumerar futures possibles línies d'investigació en quan a la resistència al lliscament.

FUTURES LÍNIES D'INVESTIGACIÓ

- Com s'ha pogut demostrar, la temperatura esdevé un paràmetre que encara a dia d'avui és difícil quantificar-ne el seu efecte sobre la resistència al lliscament i, per tant, crec que seria necessari e interessant seguir estudiant i analitzant aquest paràmetre per exemple mesurant la temperatura en el punt de contacte de la roda del paviment per tal de tenir en compte l'efecte de l'aigua ja que en pot provocar modificacions en els resultats a obtenir.
- Elaboració d'una proposta d'especificació sobre com mesurar la resistència al lliscament considerant l'estació de l'any o ve proposar un valor característic que tingui en compte aquesta variabilitat estacional.
- Correlacionar el tipus de mescla bituminosa amb el coeficient de fregament transversal i també seria important considerar la naturalesa de l'àrid utilitzat en la mescla bituminosa per tal de poder observar la variabilitat de la resistència al lliscament tenint en compte aquests altres possibles condicionants.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- [1] Edmundo Pérez Jiménez, F. *Auscultación de carreteras*. I Jornada Técnica Ausgeti Auscultación y sistemas de gestión técnica de infraestructuras. Madrid, 2009.
- [2] Ballesteros Martínez, J.M. *Criterios de optimización de los incentivos en contratos de concesión ligados a indicadores de calidad de servicio para firmes bituminosos*. Tesis doctoral, pp. 88-91, Madrid, 2009.
- [3] European Asphalt Pavement Association (EAPA). *Asphalt pavements in tunnels*. Brussels, 2008.
- [4] Martínez Navarro, A. *Variación de la Resistencia al deslizamiento de un firme debido a las condiciones climáticas*. Projecte final de carrera. Barcelona, 2010.
- [5] Martínez Navarro, A. *Estudio de la variación del coeficiente de rozamiento transversal en la carretera CG-2.2*. Applus Norcontrol. Bellaterra (Barcelona), 2014.
- [6] Crespo del Río, R. *Calidad ante la rodadura*. Jornadas sobre la calidad en el proyecto y la construcción de carreteras. AEPO Ingenieros Consultores. Barcelona, 1999.
- [7] Amin Bin Shafii, M. *Skid resistance and the effect of temperature*. Faculty of Civil Engineering. Universiti Tecknologi Malaysia, 2009.
- [8] MOPU. Ministeri d'Obres Públiques i Urbanisme. *Plec de Prescripcions Tècniques Generals per Obres de Carreteres i Ponts de la Direcció General de Carretes*, PG.3, Art. 542 i 543.
- [9] Botella, R. Auscultación. *Características superficiales*. Conservación de infraestructuras. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- [10] NLT-335/87. *Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena*.
- [11] Instituto Mexicano del Transporte. *Diagnóstico de las características superficiales de los pavimentos*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Publicación técnica n.111. pp. 9-27, Sanfandila, 1998.

- [12] Miró Recasens, R. *Nuevas mezclas para capas de rodadura y su influencia en el confort y la seguridad*. Cátedra Mariano López Navarro. Zaragoza, 2006.
- [13] Lucero Campos, R., Wahr Daniel, C., Arancibia Galea, C. *Estudio de Fricción en Pavimentos*. Laboratorio Nacional de Vialidad, Universidad Técnica Federico Santa María. pp.7-11.
- [14]. Nanyang Technological University. *Skid Resistance Test*. School of Civil and Structural Engineering.
- [15] The highways agency, Scottish Executive, Welsh Assembly Government Llywodraeth Cynulliad Cymru. *Design Manual for roads and bridges*. The Department for regional development Northern Ireland. Skid Resistance.. Vol.7. Cap.3.
- [16] Bueno Pacheco, M. *Caracterización Acústica de Mezclas Asfálticas para Atenuar la Contaminación Sonora*. Universidad de Castilla-La Mancha. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. pp.53-58, 2010.
- [17] Gruas i Pauls, J.M. *Efecto de la utilización de mezclas bituminosas con polvo de neumático sobre las características funcionales del pavimento*. Projecte final de carrera. pp 28-32. Barcelona, 2009.
- [18] Álvarez Loranca, R. *Evaluación de los firmes*. Criterios que deciden su rehabilitación superficial. Geocisa
- [19] Costa Hernández, A. *La seguridad vial en la carretera*. Directivos Construcción. Vol. 175, pp. 40-42. 2005.
- [20] Crespo del Río, R. *Introducción a la auscultación de firmes*. Área de auscultación de firmes AEPO Ingenieros Consultores, 1998.
- [21] Crespo del Río, R. *El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y aplicaciones*. Área de auscultación de firmes de AEPO Ingenieros Consultores. Abril, 1999.
- [22] Edmundo Pérez Jiménez, F. *Proyecto y conservación de carreteras*. Laboratorio de caminos. Departament d'infraestructura del transport i territori. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2002.

- [23] Noyce, D., Yambó J.M. et al. *Incorporating road safety into pavement management*. Midwest Regional University Transportation Center Traffic Operations and Safety (TOPS) Laboratory. April, 2005.
- [24] Asociación Técnica de Carreteras, Comité Nacional Español de la AIPCR. *Características superficiales*. XXI Congreso mundial de la carretera. Kuala Lumpur. Octubre, 1999.
- [25] Norma ISO 11819-1 *Acoustics. Methods for measuring the influence of road surface on traffic noise*.

ANNEXES

ANNEX 1

**INDICADORS I1, I2 SOBRE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT Y LA
MACROTEXTURA DEL PLEC DEL CONTRACTE DE CONCESSIONS
D'OBRES PÚBLIQUES PER LA CONSERVACIÓ I EXPLOTACIÓ
D'AUTOVIES**

FIRMES. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO			
IDENTIFICADOR	NOMBRE		
I1	Firmes. Resistencia al deslizamiento		
Afecta a la SEGURIDAD DE LA VÍA			
NORMATIVA DE REFERENCIA			
NLT-336. Determinación de la resistencia al deslizamiento con equipo de medida de rozamiento transversal.			
MÉTODO MEDIDA			
Se tomará como medida el equivalente al coeficiente CRT (Coeficiente de rozamiento transversal medido con el SCRIM o equipo equivalente). Para calzadas dobles, en el caso de que todos los carriles de una calzada tengan la misma capa de rodadura, se tomarán medidas en una de las rodadas del carril por donde circulen más vehículos pesados de cada calzada. Si fueran distintas las capa de rodadura, se medirán también los carriles por donde circulan los vehículos más rápidos. En calzadas únicas se medirá en los dos sentidos, y se considerarán a efectos de valores medios el del peor carril. Se dará una medida cada 20 m.			
FRECUENCIA DE MEDIDA			
Se tomarán 3 medidas en marzo junio y septiembre			
VALORES MÍNIMOS Y TIEMPOS MÁXIMOS PARA PENALIDAD			
Umbral de valores puntuales	Tiempo de respuesta para corrección desde que se conoce	Umbral de valores medios en 1 km, excluyendo túneles	Tiempo de respuesta para corrección desde que se conoce
35	1 mes	40	2 meses
En túneles 60	1 mes	-----	-----
CORRECCIÓN AL ALZA		CORRECCIÓN A LA BAJA	
Valores medios en 1 km, excluyendo túneles	% de corrección de la tarifa base del año hasta próxima medida	Valores medios en 1 km, excluyendo túneles	% de corrección de la tarifa base del año hasta próxima medida
>60	0,03%	CRT<50	-0,5%
Se obtendrán los factores de corrección de la siguiente manera: Factor corrección (fc) = (% de corrección * longitud de calzada afectada) siendo:			
<ul style="list-style-type: none"> Longitud de calzada afectada: la longitud de calzada afectada medida en km enteros redondeados al alza para correcciones a la baja y a la baja para correcciones al alza 			
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se considerará que se ha incurrido en penalidad si no se cumple cualquiera de los tiempos de respuesta, o de los valores umbrales o la frecuencia de medida. ✓ Si se produjeran incumplimientos de valores puntuales y de valores medios en un mismo km, se considerará como un único incumplimiento y sólo se aplicará una única penalidad 			
Nota: Cuando el valor del indicador dé lugar a penalidad se aplicará también corrección a la baja.			



FIRMES. MACROTEXTURA

IDENTIFICADOR	NOMBRE			AFECTA A LA SEGURIDAD DE LA VÍA
I2	Firmes. Macrotextura			
NORMATIVA DE REFERENCIA				
NLT-335. Medida de la macrotextura superficial de un pavimento por la técnica volumétrica.				
MÉTODO MEDIDA				
Las unidades de medida se refieren a altura en mm referida al círculo de arena. Cada año se tomarán medidas de todo el tramo del contrato, midiéndose en el carril donde circulen más vehículos pesados. Si fueran diferentes los materiales de los carriles, o se hubieran colocado en épocas distintas se medirán todos los carriles. Se admitirá la medición con equipos de alto rendimiento que permitan obtener valores equivalentes a los recogidos en la NLT-335. Se dará una medida cada 20 m.				
FRECUENCIA DE MEDIDA				
Anual en verano.				
VALORES MÍNIMOS Y TIEMPOS MÁXIMOS PARA PENALIDAD				
Umbral de valores puntuales	Tiempo de respuesta para corrección desde que se conoce	Umbral de valores medios en 1 km	Tiempo de respuesta para corrección desde que se conoce	
0,5	1 mes	0,7	2 meses	
CORRECCIÓN AL ALZA		CORRECCIÓN A LA BAJA		
Valores medios en 1 km	% de corrección de la tarifa base del año hasta próxima medida	Valores medios en 1 km	% de corrección de la tarifa base del año hasta próxima medida	
>1,7	0,02 %	Macrotextura<1,2	-0,3%	
<p>NOTA: Este indicador no será aplicable a mezclas drenantes</p> <p>Se obtendrán los factores de corrección de la siguiente manera:</p> <p>Factor corrección (fc) = (% de corrección * longitud de calzada afectada)</p> <ul style="list-style-type: none"> Longitud de calzada afectada: la longitud de calzada afectada medida en km enteros redondeados al alza para correcciones a la baja y a la baja para correcciones al alza <p>✓ Se considerará que se ha incurrido en penalidad si no se cumple cualquiera de los tiempos de respuesta, o de los valores umbrales o la frecuencia de medida.</p> <p>✓ Si se produjeran incumplimientos de valores puntuales y de valores medios en un mismo km, se considerará como un único incumplimiento y sólo se aplicará una única penalidad</p> <p>Nota: Cuando el valor del indicador dé lugar a penalidad se aplicará también corrección a la baja.</p>				

ANNEX 2

DADES DE LES ESTACIONS METEOROLÒGIQUES REPRESENTATIVES DEL TRAM ANALITZAT EN EL PRIMER ESTUDI

(ANYS 2009 I 2010)

PLUVIOMETRIA ANY 2009												
	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE
1		15,5	1,0	7,1	8,0				0,4	3,1		
2	0,3	13,6	5,3	7,7								
3	0,2	10,5	4,5									
4			3,5									
5		1,2				2,2						
6	14,8	2,0				2,9						
7	0,3			22,4		0,2	0,9					
8	0,1			3,6								
9	5,7		0,0		0,1		41,5					
10	15,8		1,9	2,9	0,2		0,2	0,1				
11	0,1	0,2		9,5								
12				5,6								
13				0,4	0,3				2,6			
14					8,4				3,5			10,7
15				0,4					0,4	12,1		6,1
16				4,2			0,1					
17				4,0					11,7			
18									0,6			
19	0,3								0,3			
20						1,0			7,7	0,4		
21				1,6					1,8	21,0		5,4
22	0,4						1,6			4,0	0,3	5,4
23												6,9
24												7,0

25						0,5		0,4				0,8
26	0,1			15,1								3,9
27				0,3							0,2	0,1
28			15,5									1,4
29			8,2							0,2	5,0	0,4
30			2,6	5,9					0,2		0,1	
31	29,6		24,9		0,2					0,0		0,1

PLUVIOMETRIA ANY 2010												
	GENER	FEBRER	MARÇ	ABRIL	MAIG	JUNY	JULIOL	AGOST	SETEMBRE	OCTUBRE	NOVEMBRE	DESEMBRE
1		0,2			4,3			0,1				
2	2,5		0,6		13,9			1,2				
3	0,3		14,0		51,1							
4	9,4	7,6		12,5	22,4		0,5			0,1		
5	8,3				0,1							
6	0,1				0,8	6,0		0,4	0,2			
7	6,3		11,2	0,1	0,7	0,1			1,9			
8	5,4	20,4	31,5	0,1	10,7				0,1			0,5
9		16,2			0,6	12,2	0,2			0,6		1,7
10						5,7				59,4		
11						3,5				10,9		
12	4,4		0,3	2,8	7,9			8,5		12,7		
13	0,1	0,2		0,1	23,0					2,1		
14	2,3	0,1		0,1	12,3	4,0		5,8				
15		6,3		0,2	0,3	1,8						
16	1,1	7,1		0,2								
17	2,3	0,6							6,9		0,2	
18	6,8	7,1							3,2			
19	2,2	21,8		7,1		0,6		8,3			0,8	
20		0,1		0,1				0,1	5,5		1,4	
21		2,7	6,0						9,3			8,2
22			6,4	0,1								8,1
23				0,6					1,9			3,0

24	2,6											0,2
25	7,3											
26	0,1								1,0			
27		0,2			0,1						1,1	
28					0,1							
29							4,7				0,7	
30			0,6	0,8			7,4				9,6	2,4
31	0,3									1,7		7,9

ANNEX 3

DADES DE LES ESTACIONS METEOROLÒGIQUES REPRESENTATIVES DELS TRAMS ANALITZAT EN EL SEGON ESTUDI

(ANYS 2014 I 2013)

PLUVIOMETRIA PRIMER TRAM D'ESTUDI

ANY 2014		
DATES	MARÇ	ABRIL
1		0.1
2		0.1
3		1.2
4		1.2
5		
6		
7		
8		
9		
10		0.3
11		6.9
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		5.8
21		
22		9.6
23		
24		0.2
25		1.4
26		3.4
27		
28		
29		
30	6.2	
31	0.0	

ANY 2013		
DATES	OCTUBRE	NOVEMBRE
1		
2		
3		
4	2.6	
5	0.0	
6	2.8	
7		
8		
9		
10		
11	0.8	
12		
13		
14		
15		
16		19.2
17		34.6
18		27
19		0.2
20		
21		
22		
23	0.8	
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		0.6
31		

DATA D'AUSCULTACIÓ: 15/04/2014
DATA D'AUSCULTACIÓ: 13/11/2013
DATA D'AUSCULTACIÓ: 22/11/2013
LLEGGENDA


DATA D'AUSCULTACIÓ



DOS SETMANES ANTERIORS A LA MESURA DEL CRT

PLUVIOMETRIA SEGON TRAM D'ESTUDI

ANY 2013		
DATES	OCTUBRE	NOVEMBRE
1		
2		
3		
4	11.5	
5	0.2	
6	13.8	
7		
8		
9		
10		
11	0.4	
12	0.1	0.1
13		
14		
15		
16		1.2
17		32.6
18		32.2
19		0.1
20		
21		
22	0.4	
23	0.1	
24		
25		
26	0.2	0.1
27	0.1	
28		
29		
30		
31		

DATA D'AUSCULTACIÓ: 13/11/2013

DATA D'AUSCULTACIÓ: 22/11/2013

LLEGENDA



DATA D'AUSCULTACIÓ



DOS SETMANES ANTERIORS A LA MESURA DEL CRT

ANNEX 4

**DADES DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL I LA
MACROTEXTURA DE LES AUSCULTACIONS REALITZADES EN EL SEGON
ESTUDI**

PRIMER TRAM AUSCULTAT

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 15 d'Abril de 2014

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	62	1.12	66	1.22
0.04	61	1.14	67	1.19
0.06	61	1.08	68	1.15
0.08	61	1.06	67	1.25
0.10	61	1.11	66	1.16
0.12	61	1.13	66	1.08
0.14	60	1.04	67	1.22
0.16	61	1.17	66	1.26
0.18	60	1.13	67	1.09
0.20	62	1.07	66	1.16
0.22	62	1.13	66	1.25
0.24	60	1.10	67	1.25
0.26	60	1.04	67	1.25
0.28	61	1.07	67	1.29
0.30	61	1.05	69	1.27
0.32	60	1.04	70	1.27
0.34	61	1.20	71	1.34
0.36	60	1.17	71	1.33
0.38	61	1.20	68	1.16
0.40	63	1.11	69	1.28
0.42	61	1.16	69	1.27
0.44	61	1.21	69	1.18
0.46	61	1.13	69	1.20
0.48	62	1.14	67	1.30
0.50	61	1.13	68	1.22
0.52	62	1.11	68	1.21
0.54	61	1.06	68	1.25
0.56	61	1.06	67	1.30
0.58	61	1.08	67	1.39
0.60	59	1.06	66	1.23
0.62	58	1.13	67	1.17
0.64	59	1.10	67	1.21
0.66	59	1.16	68	1.27
0.68	59	1.11	68	1.25
0.70	60	1.15	67	1.24
0.72	59	1.32	68	1.29
0.74	61	1.05	67	1.27

0.76	58	1.14	67	1.16
0.78	58	1.12	66	1.33
0.80	59	1.19	67	1.37
0.82	60	1.11	68	1.27
0.84	60	1.06	69	1.45
0.86	62	1.09	69	1.22
0.88	62	1.05	69	1.32
0.90	61	1.08	69	1.42
0.92	62	1.15	68	1.38
0.94	61	1.31	69	1.38
0.96	62	1.07	70	1.18
0.98	64	1.01	70	1.31
1.00	64	1.25	70	1.42

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.00	63	1.41	59	1.24
0.98	64	1.19	58	1.23
0.96	63	1.13	58	1.24
0.94	64	1.19	58	1.13
0.92	63	1.22	57	1.04
0.90	64	1.15	57	1.08
0.88	64	1.23	57	1.03
0.86	63	1.19	57	1.08
0.84	63	1.19	56	1.04
0.82	64	1.22	58	0.98
0.80	64	1.21	58	1.23
0.78	65	1.15	58	1.07
0.76	63	1.22	59	1.06
0.74	63	1.24	59	1.04
0.72	63	1.15	58	1.13
0.70	63	1.37	58	1.15
0.68	62	1.36	57	1.08
0.66	63	1.41	57	1.13
0.64	63	1.33	56	1.16
0.62	64	1.27	56	1.17
0.60	64	1.22	57	1.02
0.58	62	1.27	57	1.05
0.56	60	1.37	57	1.07
0.54	62	1.22	56	1.17
0.52	65	1.40	56	1.06
0.50	65	1.12	55	1.03
0.48	65	1.13	56	1.02
0.46	63	1.06	57	1.00

0.44	63	1.06	57	0.93
0.42	61	1.08	57	0.93
0.40	60	1.17	57	0.94
0.38	60	1.12	57	1.01
0.36	61	1.14	57	1.00
0.34	61	1.20	57	1.00
0.32	62	1.29	58	1.03
0.30	64	1.25	59	1.04
0.28	65	1.22	60	1.13
0.26	64	1.22	59	0.96
0.24	64	1.19	59	1.08
0.22	63	1.24	59	1.00
0.20	63	1.36	57	1.08
0.18	64	1.16	57	1.02
0.16	65	1.14	56	1.00
0.14	64	1.11	56	1.06
0.12	64	1.36	59	1.01
0.10	65	1.34	60	1.02
0.08	65	1.36	58	0.95
0.06	66	1.36	58	1.21
0.04	65	1.19	57	1.21
0.02	66	1.19	55	0.80

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 22 de Novembre de 2013

	VIA 1		VIA 2	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	56	1.12	65	1.05
0.04	57	1.08	66	1.25
0.06	59	1.10	67	1.12
0.08	60	1.02	68	1.18
0.10	60	1.03	66	1.15
0.12	61	1.09	65	1.11
0.14	62	1.03	65	1.12
0.16	62	1.02	67	1.23
0.18	63	1.17	67	1.22
0.20	62	1.09	68	1.17
0.22	60	1.10	68	1.27
0.24	60	1.10	68	1.26
0.26	61	1.08	68	1.18
0.28	61	1.07	69	1.34
0.30	61	1.07	70	1.19
0.32	61	1.01	72	1.28
0.34	60	1.05	72	1.20
0.36	61	1.20	73	1.18

0.38	62	1.15	72	1.19
0.40	61	1.16	70	1.21
0.42	63	1.11	69	1.18
0.44	62	1.10	69	1.21
0.46	62	1.13	69	1.19
0.48	61	1.13	69	1.34
0.50	62	1.19	67	1.36
0.52	62	1.09	68	1.27
0.54	62	1.17	69	1.15
0.56	61	1.09	68	1.18
0.58	62	1.10	67	1.40
0.60	62	1.13	68	1.44
0.62	63	1.15	68	1.29
0.64	63	1.11	68	1.25
0.66	62	1.10	67	1.31
0.68	61	1.09	67	1.32
0.70	60	1.17	67	1.39
0.72	61	1.03	67	1.25
0.74	62	1.23	66	1.43
0.76	61	1.02	67	1.35
0.78	62	1.12	66	1.31
0.80	60	1.06	67	1.35
0.82	60	1.13	66	1.45
0.84	63	1.11	68	1.31
0.86	63	1.03	67	1.36
0.88	62	1.11	67	1.36
0.90	61	0.99	68	1.31
0.92	61	1.03	67	1.27
0.94	62	1.11	67	1.29
0.96	62	1.11	67	1.23
0.98	63	1.06	66	1.29
1.00	64	1.02	67	1.32

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1	62	1.47	64	1.09
0.98	65	1.35	64	1.15
0.96	65	1.31	64	1.12
0.94	65	1.26	62	1.03
0.92	65	1.27	61	1.15
0.9	66	1.21	59	1.13
0.88	65	1.27	60	1.04
0.86	66	1.30	59	1.06
0.84	65	1.34	59	0.94

0.82	65	1.22	60	1.00
0.8	66	1.17	59	0.94
0.78	67	1.10	60	0.97
0.76	68	1.15	60	1.02
0.74	67	1.23	59	0.98
0.72	66	1.22	57	1.13
0.7	69	1.08	57	1.03
0.68	70	1.25	56	1.15
0.66	68	1.19	56	1.33
0.64	66	1.33	56	1.10
0.62	66	1.29	57	1.11
0.6	66	1.17	55	1.17
0.58	67	1.11	56	1.24
0.56	66	1.18	55	1.08
0.54	67	1.22	57	1.12
0.52	67	1.24	59	1.05
0.5	68	1.23	59	1.09
0.48	68	1.08	58	0.97
0.46	67	1.01	58	0.99
0.44	68	0.98	55	1.03
0.42	67	0.99	56	0.95
0.4	67	1.03	59	0.96
0.38	64	1.09	59	0.93
0.36	63	1.09	59	0.90
0.34	63	1.04	59	0.96
0.32	64	1.18	59	0.92
0.3	65	1.15	59	0.89
0.28	67	1.23	60	0.97
0.26	69	1.12	62	1.07
0.24	69	1.08	60	0.96
0.22	66	1.11	58	0.96
0.2	67	1.17	58	1.00
0.18	67	1.27	58	1.02
0.16	66	1.34	58	0.99
0.14	67	1.17	58	0.95
0.12	67	1.04	60	0.95
0.1	67	1.07	58	1.00
0.08	67	1.15	57	0.97
0.06	66	1.22	59	0.96
0.04	67	1.26	57	0.94
0.02	67	1.23	58	1.07

■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 13 de Novembre de 2013

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	58	1.10	63	1.13
0.04	59	1.10	64	1.09
0.06	59	1.10	62	1.15
0.08	60	0.99	60	1.12
0.10	60	1.06	61	1.21
0.12	60	1.07	62	1.16
0.14	59	1.01	64	1.08
0.16	61	1.03	65	1.19
0.18	61	1.12	65	1.17
0.20	60	1.08	65	1.15
0.22	59	1.08	65	1.08
0.24	60	1.14	65	1.17
0.26	60	1.07	65	1.16
0.28	59	1.07	65	1.14
0.30	59	1.08	67	1.21
0.32	59	1.04	68	1.38
0.34	58	1.06	70	1.25
0.36	59	1.13	71	1.30
0.38	60	1.11	71	1.20
0.40	59	1.12	68	1.19
0.42	61	1.09	68	1.21
0.44	61	1.05	67	1.17
0.46	61	1.13	67	1.08
0.48	59	1.13	68	1.30
0.50	61	1.16	67	1.34
0.52	62	1.14	66	1.24
0.54	62	1.13	65	1.25
0.56	61	1.09	65	1.44
0.58	61	1.08	65	1.30
0.60	60	1.06	65	1.57
0.62	59	1.08	66	1.31
0.64	57	1.04	66	1.27
0.66	59	1.03	66	1.24
0.68	60	1.06	66	1.35
0.70	60	1.17	65	1.33
0.72	59	1.08	65	1.33
0.74	57	1.18	66	1.23
0.76	59	1.03	67	1.24
0.78	59	1.08	66	1.15
0.80	58	1.10	66	1.30

0.82	57	1.17	65	1.28
0.84	59	1.09	66	1.43
0.86	58	1.13	65	1.36
0.88	60	1.08	66	1.42
0.90	60	1.01	67	1.37
0.92	60	0.99	67	1.39
0.94	62	1.15	67	1.32
0.96	61	1.13	66	1.38
0.98	60	1.10	66	1.35
1.00	60	0.97	66	1.33
1.02	60	1.06	65	1.32

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	58	1.31	52	1.35
1.00	59	1.30	52	1.33
0.98	59	1.19	54	1.25
0.96	59	1.16	54	1.11
0.94	60	1.16	54	1.20
0.92	61	1.20	54	1.27
0.90	61	1.13	53	1.26
0.88	61	1.26	52	1.17
0.86	62	1.20	52	1.05
0.84	64	1.15	54	1.04
0.82	63	1.15	53	1.07
0.80	61	1.10	54	1.02
0.78	60	1.09	52	1.10
0.76	60	1.18	53	1.07
0.74	60	1.14	54	0.99
0.72	61	1.17	55	1.03
0.70	60	1.34	56	1.09
0.68	60	1.25	55	1.17
0.66	61	1.31	54	1.05
0.64	61	1.24	53	1.04
0.62	61	1.16	53	1.06
0.60	61	1.19	53	1.07
0.58	61	1.13	53	1.06
0.56	63	1.17	54	1.08
0.54	63	1.23	54	1.07
0.52	62	1.22	53	1.14
0.50	61	1.10	52	1.04
0.48	61	1.01	54	1.04
0.46	61	1.04	53	0.97
0.44	61	1.03	54	0.95

0.42	58	1.02	56	0.97
0.40	57	1.08	55	0.93
0.38	57	1.11	54	0.93
0.36	58	1.21	54	0.92
0.34	58	1.20	53	0.93
0.32	60	1.19	53	0.98
0.30	60	1.24	55	0.99
0.28	62	1.14	55	1.00
0.26	60	1.22	56	0.98
0.24	59	1.13	55	0.95
0.22	59	1.16	53	1.03
0.20	60	1.19	54	0.97
0.18	60	1.19	54	1.03
0.16	60	1.13	54	0.96
0.14	59	1.07	53	0.94
0.12	60	1.18	52	1.03
0.10	60	1.17	53	0.96
0.08	61	1.15	54	0.93
0.06	61	1.25	52	0.91
0.04	62	1.21	55	1.10
0.02	60	1.08	53	1.25

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 de Novembre de 2012

	VIA 1		VIA 2	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	61	1.04	68	1.05
0.04	61	1.04	69	1.10
0.06	60	1.04	70	1.09
0.08	61	1.04	72	1.03
0.10	61	1.01	70	1.17
0.12	62	1.00	70	1.08
0.14	63	1.02	71	1.12
0.16	65	1.02	72	1.18
0.18	64	1.10	72	1.22
0.20	65	1.04	73	1.14
0.22	64	1.05	73	1.22
0.24	65	1.08	73	1.20
0.26	63	1.04	73	1.27
0.28	64	1.03	74	1.35
0.30	63	1.02	79	1.22
0.32	64	1.00	80	1.24
0.34	63	1.05	80	1.17

0.36	63	1.29	81	1.14
0.38	64	1.09	83	1.05
0.40	65	1.07	83	1.08
0.42	64	1.10	82	1.15
0.44	66	1.10	80	1.13
0.46	65	1.11	78	1.17
0.48	63	1.11	77	1.28
0.50	65	1.12	75	1.29
0.52	65	1.12	77	1.13
0.54	64	1.12	75	1.13
0.56	63	1.07	74	1.06
0.58	64	1.02	73	1.17
0.60	63	1.08	75	1.21
0.62	63	1.05	75	1.27
0.64	61	1.08	77	1.17
0.66	62	1.07	77	1.20
0.68	62	1.06	75	1.19
0.70	64	1.12	74	1.25
0.72	65	1.07	73	1.22
0.74	65	1.14	74	1.36
0.76	65	1.07	73	1.34
0.78	64	1.08	74	1.36
0.80	62	1.04	74	1.36
0.82	61	1.16	75	1.33
0.84	64	1.09	75	1.27
0.86	64	1.02	74	1.42
0.88	65	1.02	74	1.34
0.90	64	0.97	77	1.22
0.92	65	0.99	74	1.23
0.94	65	1.05	74	1.21
0.96	64	1.06	74	1.20
0.98	64	1.04	74	1.27
1.00	65	0.97	74	1.29
1.02	66	1.01	75	1.18

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	68	1.26	61	1.18
1.00	71	1.22	62	1.25
0.98	70	1.25	64	1.25
0.96	69	1.21	62	1.08
0.94	69	1.14	61	1.16
0.92	69	1.17	62	1.16
0.90	69	1.47	61	1.00

0.88	70	1.23	60	0.98
0.86	69	1.34	61	0.94
0.84	69	1.09	63	0.99
0.82	70	1.02	62	0.99
0.80	70	1.07	63	0.89
0.78	69	1.17	61	1.07
0.76	69	1.09	61	1.08
0.74	71	1.08	59	1.09
0.72	71	1.05	59	1.09
0.70	71	1.12	59	1.20
0.68	71	1.14	58	1.23
0.66	71	1.25	60	1.04
0.64	71	1.23	60	1.07
0.62	71	1.10	60	1.04
0.60	71	1.07	59	1.11
0.58	71	1.07	60	0.98
0.56	72	1.12	61	1.01
0.54	72	1.17	61	0.97
0.52	72	1.15	60	1.11
0.50	71	1.06	60	1.04
0.48	71	0.92	61	1.05
0.46	71	0.94	60	1.06
0.44	71	0.98	60	0.97
0.42	70	0.99	59	0.93
0.40	67	1.03	60	0.93
0.38	67	1.04	60	0.95
0.36	67	0.95	59	1.05
0.34	68	1.12	58	0.98
0.32	70	1.04	60	1.01
0.30	70	1.15	61	1.04
0.28	70	1.12	61	1.03
0.26	71	1.09	60	1.03
0.24	68	1.09	61	1.00
0.22	68	1.12	62	1.01
0.20	69	1.20	61	0.90
0.18	68	1.20	60	0.97
0.16	71	1.04	62	1.03
0.14	72	1.02	60	1.01
0.12	73	1.06	59	0.95
0.10	73	1.11	60	1.00
0.08	71	1.13	61	1.05
0.06	71	1.25	60	0.90
0.04	69	1.12	59	1.19
0.02	69	1.06	61	1.06

■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 d'Octubre de 2011

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	62	0.99	72	1.03
0.04	63	1.02	72	0.99
0.06	62	1.05	73	1.04
0.08	62	1.10	73	1.15
0.10	64	1.05	74	1.10
0.12	64	1.09	74	1.08
0.14	65	1.05	74	1.15
0.16	66	1.00	74	1.07
0.18	66	1.09	74	1.10
0.20	64	1.09	74	1.10
0.22	65	1.12	75	1.11
0.24	65	1.06	74	1.17
0.26	63	1.02	75	1.13
0.28	63	1.03	75	1.17
0.30	63	1.06	75	1.14
0.32	62	1.02	78	1.14
0.34	63	1.08	81	1.30
0.36	63	1.11	83	1.21
0.38	64	1.10	83	1.15
0.40	65	1.14	79	1.21
0.42	65	1.06	79	1.18
0.44	68	1.06	79	1.12
0.46	66	1.09	79	1.23
0.48	65	1.11	78	1.25
0.50	66	1.02	78	1.20
0.52	65	1.11	77	1.19
0.54	64	1.03	75	1.30
0.56	63	1.00	75	1.30
0.58	64	1.03	74	1.48
0.60	62	1.06	75	1.32
0.62	62	1.05	77	1.20
0.64	62	1.09	75	1.22
0.66	64	1.10	77	1.21
0.68	63	1.10	77	1.15
0.70	65	1.05	75	1.22
0.72	63	1.14	75	1.31
0.74	63	1.09	75	1.17
0.76	64	1.13	75	1.16
0.78	64	1.08	75	1.27
0.80	63	1.10	75	1.28

0.82	63	1.13	77	1.24
0.84	65	1.02	78	1.15
0.86	65	1.03	77	1.22
0.88	68	1.12	78	1.17
0.90	72	1.16	79	1.22
0.92	70	1.07	78	1.16
0.94	66	1.09	78	1.27
0.96	64	1.07	78	1.24
0.98	64	1.08	77	1.24
1.00	64	1.00	77	1.20
1.02	66	1.02	78	1.22

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	68	1.21	59	1.34
1.00	68	1.23	57	1.35
0.98	70	1.06	57	1.23
0.96	70	1.14	56	1.24
0.94	69	1.13	58	1.26
0.92	69	1.10	59	1.11
0.90	70	1.23	58	1.03
0.88	71	1.23	60	1.00
0.86	69	1.19	62	0.99
0.84	69	1.12	61	1.01
0.82	68	1.06	60	1.03
0.80	68	1.11	57	1.04
0.78	68	1.22	57	1.13
0.76	70	1.13	58	1.13
0.74	71	1.04	59	1.10
0.72	70	1.20	61	1.05
0.70	69	1.23	60	1.22
0.68	69	1.27	58	1.25
0.66	71	1.27	59	1.19
0.64	71	1.14	59	1.08
0.62	71	1.02	61	1.05
0.60	72	1.08	68	1.08
0.58	72	1.12	71	1.05
0.56	71	1.17	65	1.02
0.54	71	1.20	62	1.09
0.52	71	1.05	61	1.03
0.50	71	0.94	61	1.00
0.48	72	1.01	61	1.00
0.46	72	1.11	64	0.95
0.44	70	1.12	64	1.01

0.42	66	1.12	62	0.97
0.40	65	1.09	61	0.98
0.38	66	1.11	60	1.00
0.36	67	1.13	60	0.97
0.34	69	1.15	61	1.01
0.32	69	1.22	62	1.03
0.30	72	1.12	65	1.06
0.28	72	1.17	66	1.03
0.26	70	1.10	68	0.96
0.24	70	1.11	68	1.03
0.22	69	1.24	66	1.00
0.20	69	1.19	63	1.02
0.18	69	1.10	65	0.98
0.16	69	1.09	67	1.01
0.14	69	1.11	65	1.05
0.12	69	1.13	63	1.04
0.10	69	1.15	63	0.97
0.08	69	1.26	60	0.99
0.06	70	1.11	61	1.14
0.04	72	1.09	62	1.13
0.02	72	1.10	61	0.85

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 30 de Desembre de 2010

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	66	0.91	75	0.83
0.04	66	1.12	62	1.22
0.06	71	1.15	67	1.18
0.08	74	1.18	74	1.25
0.10	74	1.22	76	1.20
0.12	77	1.21	78	1.27
0.14	76	1.22	78	1.19
0.16	78	1.21	75	1.08
0.18	78	1.23	72	1.27
0.20	77	1.33	75	1.23
0.22	80	1.26	75	1.18
0.24	78	1.26	71	1.11
0.26	79	1.23	70	1.25
0.28	77	1.26	67	1.31
0.30	79	1.20	71	1.32
0.32	79	1.19	74	1.33
0.34	79	1.20	72	1.33
0.36	78	1.32	72	1.27

0.38	81	1.21	72	1.57
0.40	79	1.20	74	1.48
0.42	82	1.30	76	1.35
0.44	82	1.21	75	1.37
0.46	81	1.21	72	1.31
0.48	81	1.24	76	1.16
0.50	79	1.32	72	1.47
0.52	78	1.28	68	1.45
0.54	81	1.24	68	1.32
0.56	79	1.24	67	1.26
0.58	79	1.27	65	1.30
0.60	78	1.19	63	1.45
0.62	77	1.25	63	1.68
0.64	76	1.25	65	1.42
0.66	76	1.27	65	1.32
0.68	79	1.28	64	1.26
0.70	78	1.29	66	1.25
0.72	79	1.26	67	1.17
0.74	80	1.26	64	1.27
0.76	78	1.37	61	1.36
0.78	81	1.21	62	1.27
0.80	77	1.28	63	1.25
0.82	76	1.22	65	1.40
0.84	77	1.31	65	1.73
0.86	80	1.28	65	1.68
0.88	79	1.27	66	1.50
0.90	80	1.23	65	1.42
0.92	80	1.23	66	1.47
0.94	79	1.21	68	1.58
0.96	79	1.25	68	1.53
0.98	78	1.30	68	1.33
1.00	79	1.23	67	1.34
1.02	79	1.16	67	1.38

Distancia	VIA 3		VIA 4	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	68	1.37	67	1.37
1.00	69	1.43	68	1.63
0.98	70	1.19	68	1.44
0.96	68	1.12	70	1.25
0.94	67	1.17	69	1.37
0.92	67	1.33	67	1.38
0.90	67	1.15	66	1.27
0.88	68	1.12	65	1.19

0.86	63	1.28	65	1.10
0.84	61	1.26	65	1.11
0.82	60	1.21	65	1.14
0.80	60	1.29	65	1.10
0.78	60	1.33	65	1.34
0.76	62	1.40	67	1.35
0.74	61	1.31	67	1.27
0.72	62	1.39	67	1.40
0.70	61	1.61	67	1.27
0.68	60	1.55	68	1.24
0.66	62	1.38	68	1.21
0.64	63	1.24	66	1.30
0.62	61	1.28	66	1.26
0.60	60	1.28	66	1.33
0.58	60	1.28	68	1.18
0.56	58	1.37	67	1.23
0.54	59	1.48	66	1.24
0.52	61	1.34	66	1.26
0.50	61	1.16	68	1.19
0.48	61	1.14	68	1.15
0.46	62	1.18	68	1.24
0.44	61	1.16	68	1.15
0.42	59	1.23	67	1.19
0.40	58	1.32	67	1.10
0.38	57	1.34	68	1.05
0.36	57	1.28	67	1.12
0.34	58	1.24	67	1.10
0.32	59	1.34	66	1.17
0.30	61	1.29	67	1.26
0.28	62	1.18	69	1.25
0.26	61	1.31	68	1.18
0.24	60	1.29	68	1.13
0.22	59	1.44	67	1.24
0.20	58	1.53	68	1.14
0.18	60	1.26	67	1.27
0.16	61	1.21	68	1.20
0.14	59	1.26	68	1.17
0.12	58	1.41	67	1.21
0.10	59	1.47	67	1.15
0.08	59	1.63	67	1.09
0.06	62	1.37	67	1.10
0.04	66	1.30	70	1.20
0.02	67	1.11	70	1.23

SEGON TRAM AUSCULTAT

■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 22 de Novembre de 2013

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	50	0.83	53	0.96
0.04	50	0.81	52	0.95
0.06	51	0.79	52	0.97
0.08	49	0.75	52	1.04
0.10	49	0.74	53	1.20
0.12	50	0.78	52	1.12
0.14	48	0.66	50	1.02
0.16	48	0.64	51	1.01
0.18	49	0.71	52	0.99
0.20	49	0.77	52	1.00
0.22	49	0.77	51	1.01
0.24	50	0.72	53	0.92
0.26	52	0.71	53	0.87
0.28	53	0.82	52	0.86
0.30	48	0.80	52	0.80
0.32	48	0.78	52	0.86
0.34	50	0.72	53	0.92
0.36	51	0.65	53	0.78
0.38	51	0.76	53	0.79
0.40	51	0.74	53	0.82
0.42	49	0.74	53	0.84
0.44	51	0.72	52	0.81
0.46	52	0.75	52	0.86
0.48	53	0.69	53	0.77
0.50	53	0.65	52	0.88
0.52	53	0.70	52	0.91
0.54	52	0.70	53	0.85
0.56	53	0.76	53	0.93
0.58	53	0.75	53	0.90
0.60	53	0.73	53	0.87
0.62	54	0.69	53	0.93
0.64	52	0.73	53	0.92
0.66	51	0.63	53	0.98
0.68	53	0.64	53	0.96
0.70	54	0.61	54	0.99
0.72	55	0.65	55	1.00
0.74	54	0.58	55	0.86
0.76	58	0.71	56	0.93
0.78	59	0.83	56	0.95
0.80	56	0.70	55	1.03

0.82	54	0.74	53	1.00
0.84	55	0.69	53	0.94
0.86	53	0.64	53	0.91
0.88	55	0.71	53	0.87
0.90	54	0.69	53	0.89
0.92	53	0.65	53	0.93
0.94	53	0.68	53	0.99
0.96	55	0.88	54	0.91
0.98	54	0.73	53	0.90
1.00	54	0.77	53	0.98
1.02	54	0.88	53	0.98

Distancia	VIA 3		VIA 4	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	55	1.02	58	0.74
1.00	55	1.00	59	0.71
0.98	55	1.13	61	0.81
0.96	55	1.03	59	0.76
0.94	55	1.08	58	0.85
0.92	56	1.00	57	0.70
0.90	55	0.96	52	0.74
0.88	55	1.15	54	0.79
0.86	55	1.08	57	0.70
0.84	55	0.98	59	0.74
0.82	54	0.88	59	0.69
0.80	54	1.05	58	0.72
0.78	55	1.03	57	0.70
0.76	55	1.08	58	0.75
0.74	55	0.96	59	0.75
0.72	56	0.99	62	0.74
0.70	56	0.98	59	0.84
0.68	57	1.02	59	0.79
0.66	58	0.97	56	0.82
0.64	59	1.01	55	0.79
0.62	59	1.09	55	0.75
0.60	60	1.06	57	0.74
0.58	61	1.00	53	1.17
0.56	60	0.92	52	1.26
0.54	61	0.91	54	1.24
0.52	61	1.02	55	1.26
0.50	61	1.04	55	1.21
0.48	60	1.04	56	1.27
0.46	60	1.02	57	1.31
0.44	60	0.95	57	1.28

0.42	59	1.10	58	1.40
0.40	59	1.05	58	1.29
0.38	57	1.02	59	1.23
0.36	56	1.06	61	1.18
0.34	56	1.05	61	1.28
0.32	57	0.96	61	1.23
0.30	59	1.02	60	1.19
0.28	58	1.03	59	1.19
0.26	58	0.86	59	1.27
0.24	58	1.08	57	1.39
0.22	57	1.01	57	1.41
0.20	57	0.98	57	1.37
0.18	55	1.08	56	1.34
0.16	54	1.10	56	1.43
0.14	55	1.49	56	1.40
0.12	56	1.21	56	1.38
0.10	56	1.08	56	1.42
0.08	55	1.09	56	1.42
0.06	56	1.03	59	1.32
0.04	57	1.19	57	1.37
0.02	58	1.20	57	1.48

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 13 de Novembre de 2013

	VIA 1		VIA 2	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	58	1.10	63	1.13
0.04	59	1.10	64	1.09
0.06	59	1.10	62	1.15
0.08	60	0.99	60	1.12
0.10	60	1.06	61	1.21
0.12	60	1.07	62	1.16
0.14	59	1.01	64	1.08
0.16	61	1.03	65	1.19
0.18	61	1.12	65	1.17
0.20	60	1.08	65	1.15
0.22	59	1.08	65	1.08
0.24	60	1.14	65	1.17
0.26	60	1.07	65	1.16
0.28	59	1.07	65	1.14
0.30	59	1.08	67	1.21
0.32	59	1.04	68	1.38
0.34	58	1.06	70	1.25
0.36	59	1.13	71	1.30

0.38	60	1.11	71	1.20
0.40	59	1.12	68	1.19
0.42	61	1.09	68	1.21
0.44	61	1.05	67	1.17
0.46	61	1.13	67	1.08
0.48	59	1.13	68	1.30
0.50	61	1.16	67	1.34
0.52	62	1.14	66	1.24
0.54	62	1.13	65	1.25
0.56	61	1.09	65	1.44
0.58	61	1.08	65	1.30
0.60	60	1.06	65	1.57
0.62	59	1.08	66	1.31
0.64	57	1.04	66	1.27
0.66	59	1.03	66	1.24
0.68	60	1.06	66	1.35
0.70	60	1.17	65	1.33
0.72	59	1.08	65	1.33
0.74	57	1.18	66	1.23
0.76	59	1.03	67	1.24
0.78	59	1.08	66	1.15
0.80	58	1.10	66	1.30
0.82	57	1.17	65	1.28
0.84	59	1.09	66	1.43
0.86	58	1.13	65	1.36
0.88	60	1.08	66	1.42
0.90	60	1.01	67	1.37
0.92	60	0.99	67	1.39
0.94	62	1.15	67	1.32
0.96	61	1.13	66	1.38
0.98	60	1.10	66	1.35
1.00	60	0.97	66	1.33
1.02	60	1.06	65	1.32

Distància	VIA 3		VIA 4	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	50	0.94	48	0.86
1.00	49	0.88	49	0.77
0.98	50	0.91	50	0.80
0.96	49	0.92	49	0.80
0.94	50	1.00	50	0.82
0.92	51	0.98	48	0.72
0.90	50	0.90	49	0.84
0.88	50	1.07	49	0.75

0.86	50	0.96	48	0.72
0.84	50	1.00	47	0.75
0.82	49	0.95	46	0.74
0.80	49	0.92	46	0.80
0.78	50	0.94	46	0.78
0.76	49	0.83	46	0.74
0.74	50	0.88	46	0.77
0.72	50	0.90	48	0.81
0.70	50	0.97	47	0.90
0.68	50	1.08	48	0.85
0.66	51	1.01	46	0.81
0.64	52	1.02	46	0.78
0.62	53	0.85	48	0.78
0.60	54	0.98	48	1.03
0.58	54	1.08	42	1.27
0.56	54	0.96	43	1.31
0.54	54	0.91	43	1.35
0.52	53	0.88	44	1.35
0.50	54	0.98	44	1.38
0.48	54	1.01	44	1.33
0.46	56	0.94	43	1.29
0.44	56	0.90	43	1.38
0.42	54	1.03	42	1.36
0.40	52	1.11	43	1.32
0.38	51	1.01	43	1.30
0.36	50	1.05	43	1.32
0.34	50	0.99	44	1.27
0.32	52	0.91	43	1.21
0.30	52	0.99	44	1.23
0.28	52	0.99	43	1.31
0.26	52	0.80	44	1.32
0.24	52	1.11	43	1.47
0.22	51	1.08	42	1.40
0.20	51	0.97	41	1.47
0.18	49	1.03	41	1.36
0.16	49	1.08	42	1.45
0.14	50	1.13	41	1.39
0.12	51	1.13	40	1.43
0.10	50	1.14	41	1.45
0.08	52	1.09	43	1.41
0.06	54	1.05	43	1.40
0.04	54	1.11	43	1.36
0.02	56	1.20	43	1.55

■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 d'Octubre de 2011

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	53	0.74	58	0.86
0.04	53	0.75	59	0.87
0.06	54	0.74	57	0.81
0.08	53	0.66	57	0.77
0.10	53	0.68	55	0.93
0.12	52	0.68	55	1.06
0.14	51	0.67	57	0.94
0.16	50	0.67	56	0.90
0.18	50	0.65	56	0.92
0.20	51	0.74	55	0.90
0.22	52	0.72	56	0.85
0.24	52	0.66	57	0.84
0.26	52	0.66	56	0.86
0.28	55	0.76	55	0.79
0.30	48	0.65	55	0.81
0.32	50	0.71	52	0.72
0.34	50	0.64	49	0.82
0.36	52	0.64	54	0.81
0.38	53	0.72	55	0.74
0.40	54	0.66	56	0.77
0.42	54	0.62	56	0.72
0.44	55	0.59	56	0.80
0.46	54	0.63	55	0.79
0.48	53	0.64	54	0.74
0.50	49	0.61	53	0.68
0.52	50	0.71	55	0.90
0.54	49	0.69	55	0.84
0.56	53	0.69	55	0.89
0.58	54	0.63	55	0.91
0.60	56	0.57	55	0.82
0.62	56	0.62	54	0.83
0.64	54	0.59	54	0.90
0.66	53	0.58	55	0.91
0.68	54	0.61	57	0.85
0.70	54	0.66	57	0.91
0.72	54	0.67	58	0.91
0.74	54	0.65	56	0.87
0.76	55	0.68	57	0.87
0.78	55	0.67	58	0.85
0.80	51	0.64	57	0.89

0.82	51	0.61	56	0.86
0.84	47	0.60	56	0.80
0.86	51	0.63	56	0.88
0.88	52	0.67	56	0.83
0.90	52	0.67	55	0.80
0.92	51	0.63	54	0.79
0.94	51	0.71	56	0.83
0.96	53	0.74	56	0.86
0.98	51	0.67	53	0.90
1.00	51	0.68	55	0.87
1.02	52	0.75	55	1.14

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	59	0.85	54	0.69
1.00	60	0.92	56	0.60
0.98	60	0.90	55	0.69
0.96	60	0.92	52	0.71
0.94	61	0.89	50	0.72
0.92	60	0.81	51	0.72
0.90	58	0.88	45	0.73
0.88	58	0.84	50	0.72
0.86	58	0.78	51	0.72
0.84	58	0.77	51	0.70
0.82	58	0.81	52	0.72
0.80	59	0.78	53	0.67
0.78	59	0.78	53	0.70
0.76	59	0.76	52	0.75
0.74	61	0.81	51	0.72
0.72	62	0.87	54	0.74
0.70	63	0.89	55	0.72
0.68	64	0.87	55	0.74
0.66	64	0.95	48	0.74
0.64	64	0.94	49	0.73
0.62	64	0.94	52	0.69
0.60	64	0.94	55	0.71
0.58	64	0.81	54	0.66
0.56	63	0.81	53	0.66
0.54	64	0.89	52	0.69
0.52	65	0.98	52	0.66
0.50	68	0.90	52	0.71
0.48	66	0.91	51	0.76
0.46	64	0.84	52	0.73
0.44	63	0.82	53	0.70

0.42	63	0.96	53	0.73
0.40	62	0.91	52	0.72
0.38	61	0.90	51	0.78
0.36	60	0.83	52	0.75
0.34	61	0.84	52	0.83
0.32	60	0.93	52	0.71
0.30	61	0.85	53	0.71
0.28	60	1.03	50	0.66
0.26	61	1.05	51	0.69
0.24	61	0.88	51	0.76
0.22	59	0.89	50	0.69
0.20	60	0.92	52	0.65
0.18	60	1.15	51	0.77
0.16	61	1.23	53	0.83
0.14	60	1.01	53	0.74
0.12	60	0.98	53	0.74
0.10	61	0.92	53	0.73
0.08	61	0.98	52	0.76
0.06	63	0.99	54	0.69
0.04	64	0.92	54	0.57
0.02	64	0.92	56	0.63

▪ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 d'Octubre de 2011

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	53	0.74	58	0.86
0.04	53	0.75	59	0.87
0.06	54	0.74	57	0.81
0.08	53	0.66	57	0.77
0.10	53	0.68	55	0.93
0.12	52	0.68	55	1.06
0.14	51	0.67	57	0.94
0.16	50	0.67	56	0.90
0.18	50	0.65	56	0.92
0.20	51	0.74	55	0.90
0.22	52	0.72	56	0.85
0.24	52	0.66	57	0.84
0.26	52	0.66	56	0.86
0.28	55	0.76	55	0.79
0.30	48	0.65	55	0.81
0.32	50	0.71	52	0.72
0.34	50	0.64	49	0.82
0.36	52	0.64	54	0.81
0.38	53	0.72	55	0.74

0.40	54	0.66	56	0.77
0.42	54	0.62	56	0.72
0.44	55	0.59	56	0.80
0.46	54	0.63	55	0.79
0.48	53	0.64	54	0.74
0.50	49	0.61	53	0.68
0.52	50	0.71	55	0.90
0.54	49	0.69	55	0.84
0.56	53	0.69	55	0.89
0.58	54	0.63	55	0.91
0.60	56	0.57	55	0.82
0.62	56	0.62	54	0.83
0.64	54	0.59	54	0.90
0.66	53	0.58	55	0.91
0.68	54	0.61	57	0.85
0.70	54	0.66	57	0.91
0.72	54	0.67	58	0.91
0.74	54	0.65	56	0.87
0.76	55	0.68	57	0.87
0.78	55	0.67	58	0.85
0.80	51	0.64	57	0.89
0.82	51	0.61	56	0.86
0.84	47	0.60	56	0.80
0.86	51	0.63	56	0.88
0.88	52	0.67	56	0.83
0.90	52	0.67	55	0.80
0.92	51	0.63	54	0.79
0.94	51	0.71	56	0.83
0.96	53	0.74	56	0.86
0.98	51	0.67	53	0.90
1.00	51	0.68	55	0.87
1.02	52	0.75	55	1.14

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	59	0.85	54	0.69
1.00	60	0.92	56	0.60
0.98	60	0.90	55	0.69
0.96	60	0.92	52	0.71
0.94	61	0.89	50	0.72
0.92	60	0.81	51	0.72
0.90	58	0.88	45	0.73
0.88	58	0.84	50	0.72
0.86	58	0.78	51	0.72

0.84	58	0.77	51	0.70
0.82	58	0.81	52	0.72
0.80	59	0.78	53	0.67
0.78	59	0.78	53	0.70
0.76	59	0.76	52	0.75
0.74	61	0.81	51	0.72
0.72	62	0.87	54	0.74
0.70	63	0.89	55	0.72
0.68	64	0.87	55	0.74
0.66	64	0.95	48	0.74
0.64	64	0.94	49	0.73
0.62	64	0.94	52	0.69
0.60	64	0.94	55	0.71
0.58	64	0.81	54	0.66
0.56	63	0.81	53	0.66
0.54	64	0.89	52	0.69
0.52	65	0.98	52	0.66
0.50	68	0.90	52	0.71
0.48	66	0.91	51	0.76
0.46	64	0.84	52	0.73
0.44	63	0.82	53	0.70
0.42	63	0.96	53	0.73
0.40	62	0.91	52	0.72
0.38	61	0.90	51	0.78
0.36	60	0.83	52	0.75
0.34	61	0.84	52	0.83
0.32	60	0.93	52	0.71
0.30	61	0.85	53	0.71
0.28	60	1.03	50	0.66
0.26	61	1.05	51	0.69
0.24	61	0.88	51	0.76
0.22	59	0.89	50	0.69
0.20	60	0.92	52	0.65
0.18	60	1.15	51	0.77
0.16	61	1.23	53	0.83
0.14	60	1.01	53	0.74
0.12	60	0.98	53	0.74
0.10	61	0.92	53	0.73
0.08	61	0.98	52	0.76
0.06	63	0.99	54	0.69
0.04	64	0.92	54	0.57
0.02	64	0.92	56	0.63

■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 14 de Desembre de 2010

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0.02	60	0.83	76	0.97
0.04	60	0.80	72	0.90
0.06	59	0.77	72	0.86
0.08	58	0.72	71	0.89
0.10	59	0.67	70	0.90
0.12	58	0.69	71	1.04
0.14	57	0.67	71	1.02
0.16	56	0.67	71	0.95
0.18	57	0.71	71	0.91
0.20	58	0.79	71	0.93
0.22	58	0.78	72	0.97
0.24	59	0.78	71	1.02
0.26	59	0.83	72	0.84
0.28	61	0.76	74	0.81
0.30	58	0.63	74	0.83
0.32	58	0.72	72	1.01
0.34	58	0.72	72	0.89
0.36	59	0.69	76	0.88
0.38	59	0.69	76	0.79
0.40	60	0.72	74	0.77
0.42	61	0.72	71	0.74
0.44	61	0.68	70	0.77
0.46	61	0.69	70	0.83
0.48	61	0.67	69	0.75
0.50	61	0.67	69	0.69
0.52	61	0.74	70	0.91
0.54	61	0.68	68	0.88
0.56	61	0.74	69	0.88
0.58	62	0.75	68	0.91
0.60	62	0.69	70	0.95
0.62	63	0.66	72	0.84
0.64	63	0.56	72	0.94
0.66	62	0.63	71	0.97
0.68	61	0.67	71	0.92
0.70	62	0.67	70	0.99
0.72	63	0.59	69	0.96
0.74	63	0.58	70	0.91
0.76	64	0.71	72	0.88
0.78	65	0.76	72	0.96

0.80	64	0.69	75	0.96
0.82	64	0.74	75	0.96
0.84	63	0.67	74	0.95
0.86	62	0.68	72	0.87
0.88	63	0.67	72	0.89
0.90	61	0.71	74	0.80
0.92	63	0.72	71	0.81
0.94	62	0.62	69	0.94
0.96	61	0.72	71	0.90
0.98	61	0.73	70	0.89
1.00	61	0.79	68	0.85
1.02	61	0.82	69	0.86

Distancia	VIA 3		VIA 4	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1.02	69	0.97	48	0.78
1.00	69	0.95	60	0.85
0.98	69	0.97	60	0.77
0.96	71	0.99	56	0.82
0.94	71	0.90	55	0.80
0.92	72	0.85	59	0.72
0.90	71	0.88	60	0.69
0.88	69	0.99	59	0.71
0.86	69	0.98	60	0.78
0.84	69	0.83	61	0.74
0.82	70	0.87	60	0.73
0.80	70	0.93	61	0.71
0.78	70	0.95	61	0.69
0.76	72	0.96	62	0.74
0.74	74	0.86	58	0.69
0.72	74	0.99	56	0.69
0.70	71	0.92	58	0.78
0.68	74	0.90	60	0.77
0.66	72	0.96	61	0.78
0.64	74	1.02	60	0.79
0.62	75	1.00	59	0.75
0.60	74	0.94	58	0.72
0.58	74	0.92	57	0.70
0.56	74	0.85	57	0.67
0.54	74	0.90	58	0.82
0.52	76	0.99	57	0.72
0.50	78	0.98	59	0.69
0.48	78	1.02	57	0.76
0.46	80	0.94	58	0.83

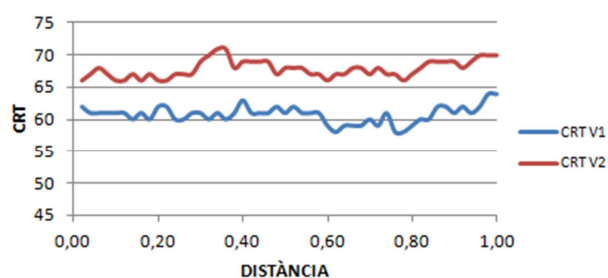
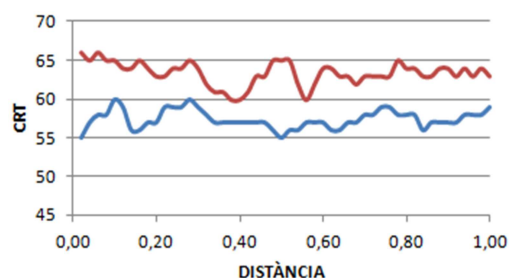
0.44	81	0.88	56	0.75
0.42	79	1.04	56	0.75
0.40	75	1.00	58	0.74
0.38	72	1.01	57	0.77
0.36	72	1.01	56	0.77
0.34	71	0.89	55	0.86
0.32	74	0.83	54	0.88
0.30	75	0.83	54	0.78
0.28	75	0.82	54	0.70
0.26	72	1.12	54	0.71
0.24	69	1.10	54	0.72
0.22	69	0.90	54	0.74
0.20	70	0.91	53	0.72
0.18	70	1.00	53	0.67
0.16	69	1.23	53	0.74
0.14	72	1.05	56	0.80
0.12	71	1.17	59	0.76
0.10	74	1.07	59	0.72
0.08	77	1.12	57	0.74
0.06	79	1.08	55	0.74
0.04	83	1.07	58	0.68
0.02	83	1.05	60	0.60

ANNEX 5

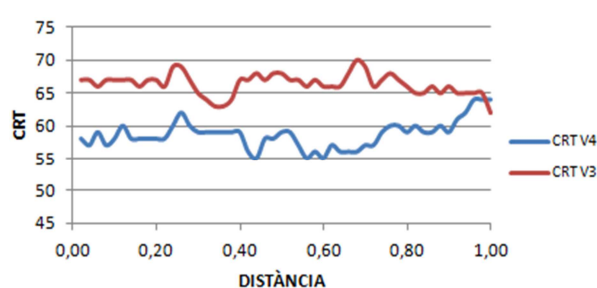
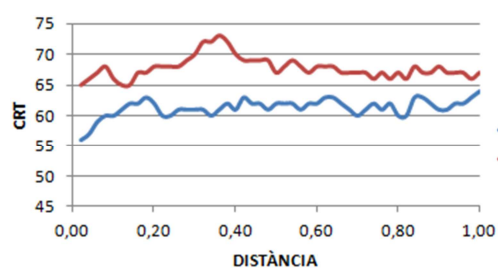
**GRÀFICS DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL PELS DIFERENTS
TRAMS AUSCULTATS EN EL SEGON ESTUDI**

PRIMER TRAM AUSCULTAT

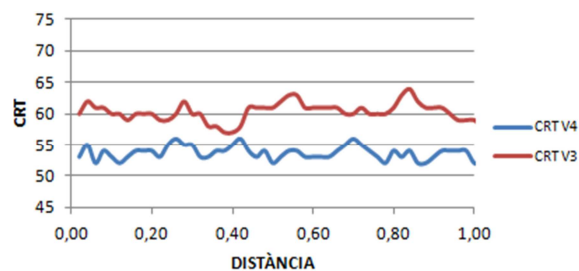
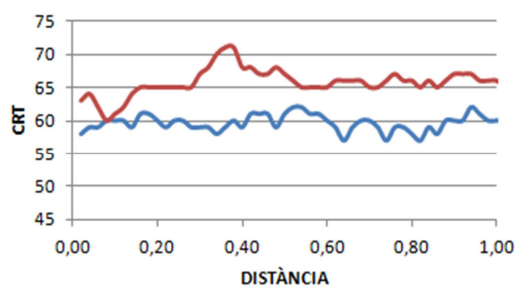
■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 15 d'Abril de 2014



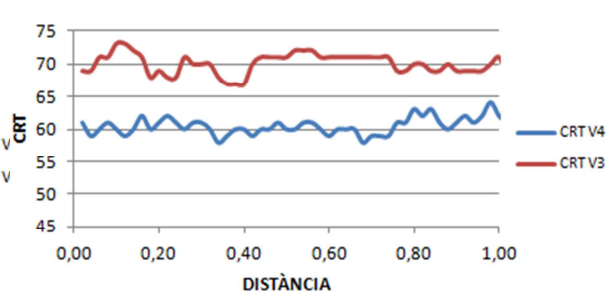
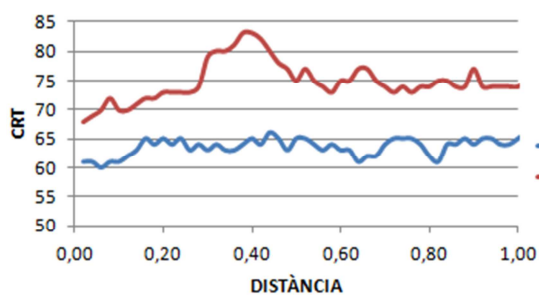
■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 22 de Novembre de 2013



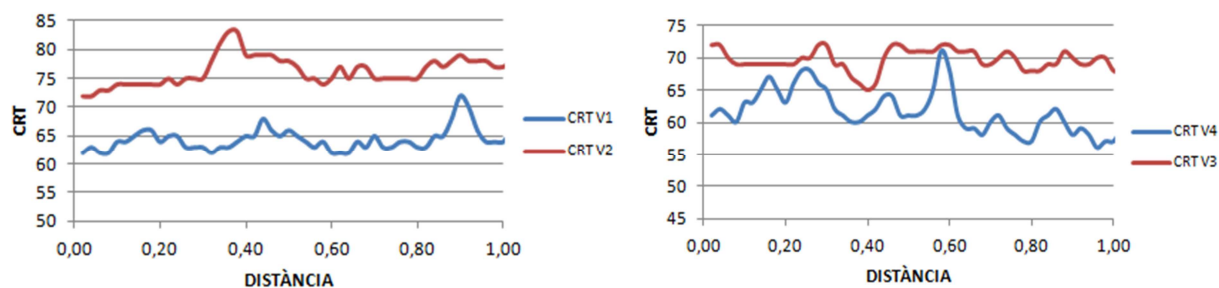
■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 13 de Novembre de 2013



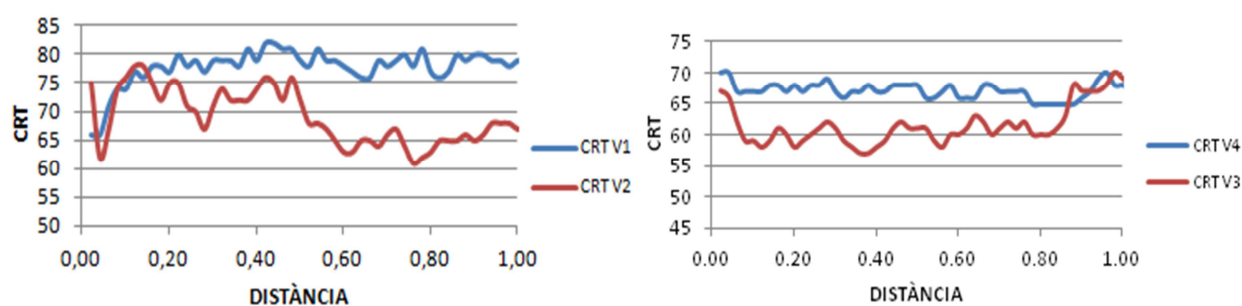
■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 de Novembre de 2012



■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 d'Octubre de 2011

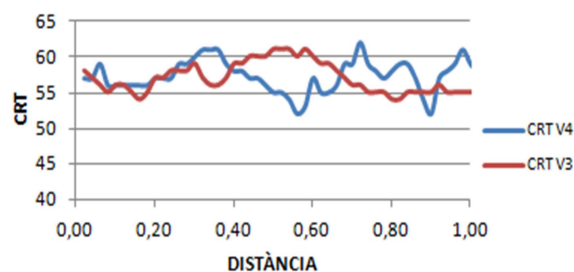
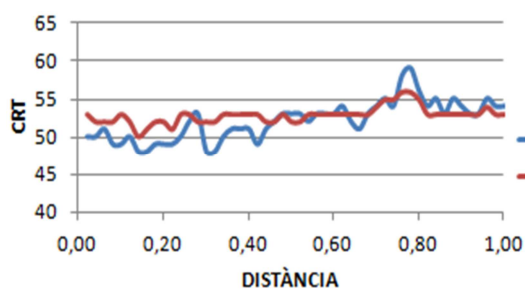


■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 30 de Desembre de 2010

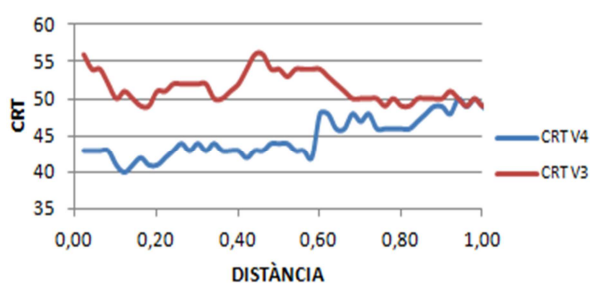
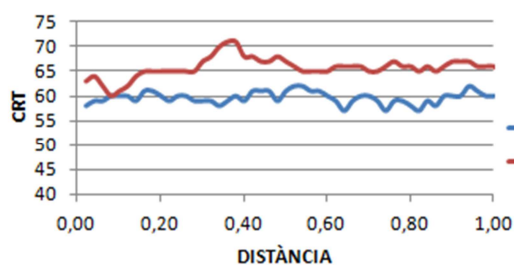


SEGON TRAM AUSCULTAT

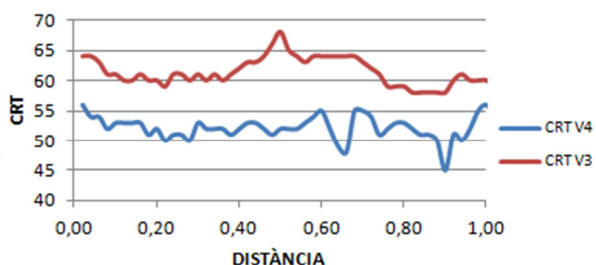
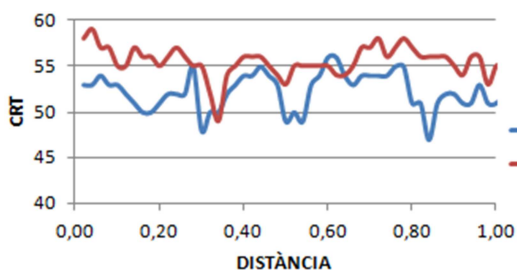
■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 22 de Novembre de 2013



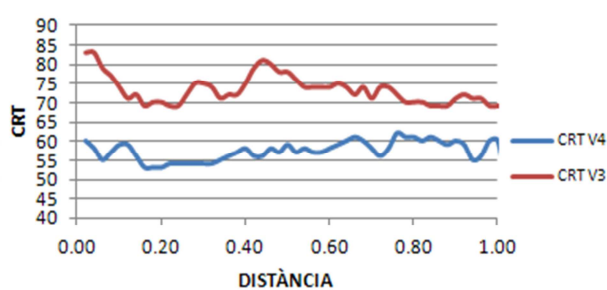
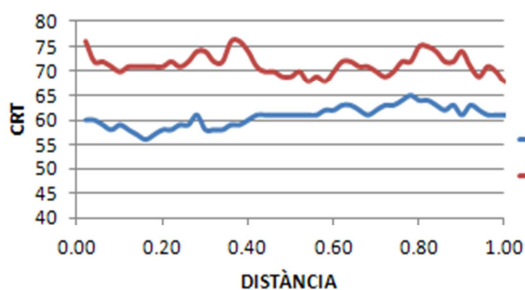
■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 13 de Novembre de 2013



■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 5 d'Octubre de 2011



■ DATA D'AUSCULTACIÓ: 14 de Desembre de 2010



ANNEX 6

**DADES DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL I LA
MACROTEXTURA DE LES AUSCULTACIONS REALITZADES EN EL TERCER
ESTUDI**

▪ **PRIMER TRAM AUSCULTAT** → IMD = 82,095 veh./dia

	VIA 1		VIA 2	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0,02	47	1,20	46	0,82
0,04	43	0,70	47	0,94
0,06	47	1,00	46	0,81
0,08	46	0,99	45	0,85
0,1	44	0,80	45	0,80
0,12	47	1,10	44	0,74
0,14	47	0,84	43	0,77
0,16	48	0,99	43	0,70
0,18	47	0,94	40	0,67
0,2	43	0,87	44	0,88
0,22	45	0,82	45	0,89
0,24	50	1,06	45	0,84
0,26	48	0,94	44	0,75
0,28	46	0,92	43	0,75
0,3	48	0,95	42	0,73
0,32	47	0,64	43	0,80
0,34	48	0,93	45	0,74
0,36	49	1,92	44	0,61
0,38	41	0,81	45	0,83
0,4	45	1,10	43	0,68
0,42	46	0,89	44	0,85
0,44	43	0,93	44	0,73
0,46	45	0,90	43	0,73
0,48	47	0,89	44	0,78
0,5	45	0,89	44	0,74
0,52	45	0,91	43	0,77
0,54	47	0,85	43	0,79
0,56	45	0,69	43	0,80
0,58	45	0,85	43	0,76
0,6	45	0,84	44	0,77
0,62	45	0,87	45	0,76
0,64	48	1,03	45	0,80
0,66	49	0,96	44	0,81
0,68	50	0,90	45	0,86
0,7	52	0,93	45	0,78
0,72	53	1,21	46	0,73
0,74	41	0,91	45	0,74
0,76	42	0,62	44	0,86
0,78	36	0,53	43	0,84

0,8	39	0,47	43	0,78
0,82	41	0,69	42	0,65
0,84	47	0,65	42	0,74
0,86	44	0,97	42	0,71
0,88	46	0,99	42	0,77
0,9	46	0,92	44	0,75
0,92	44	0,98	42	0,74
0,94	44	0,87	43	0,96
0,96	46	0,95	44	1,08
0,98	46	0,97	43	0,93
1	46	0,89	42	0,78

Distancia	VIA 3		VIA 4	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1	43	0,92	45	1,07
0,98	45	0,80	48	0,85
0,96	47	0,95	48	0,87
0,94	47	0,89	48	0,93
0,92	47	1,16	51	1,00
0,9	47	1,20	51	1,07
0,88	47	1,27	49	0,89
0,86	47	1,02	48	0,89
0,84	46	1,16	49	0,89
0,82	46	1,05	49	0,94
0,8	45	1,03	51	0,90
0,78	47	0,98	51	0,88
0,76	48	1,12	50	0,91
0,74	46	1,06	49	0,98
0,72	46	1,05	50	1,05
0,7	44	0,96	48	0,73
0,68	44	1,07	46	0,68
0,66	43	0,97	42	0,56
0,64	43	0,97	40	0,49
0,62	44	0,89	34	0,79
0,6	45	0,91	52	0,94
0,58	45	1,01	52	0,77
0,56	46	1,02	55	0,83
0,54	46	1,07	48	0,93
0,52	45	1,18	47	0,93
0,5	43	0,93	46	0,79
0,48	44	0,86	48	0,76
0,46	44	1,03	51	0,85
0,44	44	0,89	48	0,97
0,42	45	1,07	50	1,14

0,4	43	0,90	51	1,01
0,38	44	0,79	42	0,67
0,36	45	0,95	51	1,03
0,34	42	0,97	44	0,67
0,32	42	0,85	46	0,85
0,3	43	0,91	45	0,75
0,28	43	0,95	46	0,77
0,26	44	1,02	42	0,58
0,24	44	0,91	44	0,54
0,22	44	0,83	40	0,48
0,2	46	0,92	44	0,95
0,18	45	1,02	52	1,05
0,16	45	1,01	52	1,26
0,14	45	1,05	50	1,11
0,12	45	1,05	46	0,88
0,1	44	0,93	47	0,96
0,08	44	0,82	48	0,95
0,06	45	0,75	48	0,86
0,04	45	0,83	49	0,89
0,02	46	0,96	51	1,07

▪ **SEGON TRAM AUSCULTAT** → IMD = 52,368 veh./dia

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0,02	48	1,04	47	0,85
0,04	46	1,01	47	0,84
0,06	50	1,44	45	0,80
0,08	51	1,09	46	0,98
0,1	53	1,10	45	0,95
0,12	56	1,09	45	0,82
0,14	51	0,95	46	0,75
0,16	47	0,85	45	0,81
0,18	47	0,87	44	0,71
0,2	46	0,71	44	0,73
0,22	40	0,49	44	0,73
0,24	43	0,86	45	0,71
0,26	46	0,80	47	0,70
0,28	50	1,02	46	0,73
0,3	50	1,20	46	0,77
0,32	41	0,99	46	0,85
0,34	47	1,06	46	0,84

0,36	51	1,14	47	0,97
0,38	50	1,37	47	0,90
0,4	51	1,38	47	0,84
0,42	54	1,10	47	0,91
0,44	54	1,10	48	0,96
0,46	55	1,23	48	1,10
0,48	54	1,26	48	0,99
0,5	53	1,22	48	0,98
0,52	53	1,09	47	0,90
0,54	51	1,07	47	0,91
0,56	50	1,15	48	0,79
0,58	50	1,28	47	0,77
0,6	50	1,20	48	0,91
0,62	46	1,35	47	1,05
0,64	46	0,77	48	0,90
0,66	51	1,25	47	0,85
0,68	54	1,19	47	0,85
0,7	52	1,29	48	0,94
0,72	53	1,76	48	0,98
0,74	47	1,09	49	0,92
0,76	34	0,51	47	0,88
0,78	43	0,91	47	0,88
0,8	55	1,26	47	0,96
0,82	53	1,06	48	1,17
0,84	54	1,21	48	1,10
0,86	51	0,68	48	1,06
0,88	40	0,43	49	1,00
0,9	53	1,20	48	0,86
0,92	53	1,19	48	0,97
0,94	52	1,03	48	0,96
0,96	50	0,94	47	0,93
0,98	48	0,72	47	0,78
1	49	0,87	47	0,81

Distancia	VIA 3		VIA 4	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1	47	1,11	45	0,95
0,98	46	0,90	47	0,94
0,96	46	0,89	48	1,13
0,94	47	0,97	48	1,15
0,92	47	0,99	47	1,02
0,9	47	0,86	48	0,94

0,88	47	0,89	46	1,17
0,86	46	0,91	45	1,27
0,84	47	1,11	46	1,43
0,82	46	1,05	45	1,02
0,8	47	1,02	48	0,99
0,78	46	0,86	45	1,03
0,76	47	1,13	45	1,09
0,74	47	1,06	46	1,02
0,72	47	0,89	43	0,79
0,7	46	0,92	46	1,41
0,68	48	1,07	45	1,03
0,66	47	0,83	46	1,06
0,64	47	0,88	42	1,01
0,62	46	0,69	43	1,01
0,6	46	1,07	44	1,18
0,58	46	1,10	43	1,27
0,56	46	1,19	43	1,10
0,54	45	0,94	42	1,15
0,52	46	1,00	41	1,01
0,5	46	0,94	42	1,19
0,48	43	0,86	44	1,07
0,46	42	0,82	44	1,14
0,44	43	0,88	43	1,06
0,42	43	0,90	44	1,14
0,4	44	0,80	44	1,09
0,38	44	0,90	42	0,91
0,36	44	0,86	39	0,99
0,34	45	0,90	46	1,37
0,32	45	0,87	42	0,84
0,3	44	0,93	41	1,08
0,28	44	0,85	41	1,21
0,26	44	0,92	43	1,04
0,24	44	0,94	43	0,96
0,22	43	0,73	44	0,94
0,2	43	0,79	43	0,96
0,18	44	0,91	44	1,03
0,16	45	0,95	46	1,24
0,14	45	0,84	47	0,99
0,12	44	0,92	46	1,40
0,1	45	0,95	46	1,14
0,08	45	0,92	46	1,10
0,06	45	0,89	42	1,24
0,04	45	0,84	45	1,18
0,02	45	0,84	47	1,09

TERCER TRAM AUSCULTAT


IMD = 30,028 veh./dia

Distancia	VIA 1		VIA 2	
	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
0,02	62	1,12	66	1,22
0,04	61	1,14	67	1,19
0,06	61	1,08	68	1,15
0,08	61	1,06	67	1,25
0,10	61	1,11	66	1,16
0,12	61	1,13	66	1,08
0,14	60	1,04	67	1,22
0,16	61	1,17	66	1,26
0,18	60	1,13	67	1,09
0,20	62	1,07	66	1,16
0,22	62	1,13	66	1,25
0,24	60	1,10	67	1,25
0,26	60	1,04	67	1,25
0,28	61	1,07	67	1,29
0,30	61	1,05	69	1,27
0,32	60	1,04	70	1,27
0,34	61	1,20	71	1,34
0,36	60	1,17	71	1,33
0,38	61	1,20	68	1,16
0,40	63	1,11	69	1,28
0,42	61	1,16	69	1,27
0,44	61	1,21	69	1,18
0,46	61	1,13	69	1,20
0,48	62	1,14	67	1,30
0,50	61	1,13	68	1,22
0,52	62	1,11	68	1,21
0,54	61	1,06	68	1,25
0,56	61	1,06	67	1,30
0,58	61	1,08	67	1,39
0,60	59	1,06	66	1,23
0,62	58	1,13	67	1,17
0,64	59	1,10	67	1,21
0,66	59	1,16	68	1,27
0,68	59	1,11	68	1,25
0,70	60	1,15	67	1,24
0,72	59	1,32	68	1,29
0,74	61	1,05	67	1,27
0,76	58	1,14	67	1,16
0,78	58	1,12	66	1,33
0,80	59	1,19	67	1,37

0,82	60	1,11	68	1,27
0,84	60	1,06	69	1,45
0,86	62	1,09	69	1,22
0,88	62	1,05	69	1,32
0,90	61	1,08	69	1,42
0,92	62	1,15	68	1,38
0,94	61	1,31	69	1,38
0,96	62	1,07	70	1,18
0,98	64	1,01	70	1,31
1,00	64	1,25	70	1,42

	VIA 3		VIA 4	
Distancia	C.R.T.	TEXTURA	C.R.T.	TEXTURA
1,00	63	1,41	59	1,24
0,98	64	1,19	58	1,23
0,96	63	1,13	58	1,24
0,94	64	1,19	58	1,13
0,92	63	1,22	57	1,04
0,90	64	1,15	57	1,08
0,88	64	1,23	57	1,03
0,86	63	1,19	57	1,08
0,84	63	1,19	56	1,04
0,82	64	1,22	58	0,98
0,80	64	1,21	58	1,23
0,78	65	1,15	58	1,07
0,76	63	1,22	59	1,06
0,74	63	1,24	59	1,04
0,72	63	1,15	58	1,13
0,70	63	1,37	58	1,15
0,68	62	1,36	57	1,08
0,66	63	1,41	57	1,13
0,64	63	1,33	56	1,16
0,62	64	1,27	56	1,17
0,60	64	1,22	57	1,02
0,58	62	1,27	57	1,05
0,56	60	1,37	57	1,07
0,54	62	1,22	56	1,17
0,52	65	1,40	56	1,06
0,50	65	1,12	55	1,03
0,48	65	1,13	56	1,02
0,46	63	1,06	57	1,00
0,44	63	1,06	57	0,93
0,42	61	1,08	57	0,93
0,40	60	1,17	57	0,94

0,38	60	1,12	57	1,01
0,36	61	1,14	57	1,00
0,34	61	1,20	57	1,00
0,32	62	1,29	58	1,03
0,30	64	1,25	59	1,04
0,28	65	1,22	60	1,13
0,26	64	1,22	59	0,96
0,24	64	1,19	59	1,08
0,22	63	1,24	59	1,00
0,20	63	1,36	57	1,08
0,18	64	1,16	57	1,02
0,16	65	1,14	56	1,00
0,14	64	1,11	56	1,06
0,12	64	1,36	59	1,01
0,10	65	1,34	60	1,02
0,08	65	1,36	58	0,95
0,06	66	1,36	58	1,21
0,04	65	1,19	57	1,21
0,02	66	1,19	55	0,80

ANNEX 7

**DADES DEL COEFICIENT DE FREGAMENT TRANSVERSAL DE LES
AUSCULTACIONS REALITZADES EN EL QUART ESTUDI**

EFFECTE DE LA TEMPERATURA

Distancia	C.R.T. (matí)	TEXTURA	Temperatura aire (matí)	C.R.T. (migdia)	TEXTURA	Temperatura aire (migdia)
0,02	58	1,16	14	52	1,17	38
0,04	58	1,21	14	55	1,20	38
0,06	60	1,19	13	55	1,16	38
0,08	59	1,17	14	56	1,17	38
0,1	60	1,13	13	56	1,18	38
0,12	60	1,16	13	57	1,14	38
0,14	57	1,15	13	56	1,24	38
0,16	60	1,13	13	55	1,15	38
0,18	60	1,06	13	56	1,06	38
0,2	59	1,05	13	56	1,07	38
0,22	52	1,03	13	50	1,14	38
0,24	61	1,09	13	56	1,08	38
0,26	63	1,12	13	59	1,13	37
0,28	61	1,07	13	57	1,15	37
0,3	61	1,02	13	54	1,02	37
0,32	55	1,08	14	53	1,01	37
0,34	63	1,59	14	52	3,32	36
0,36	63	1,23	14	57	1,94	37
0,38	62	1,21	14	57	2,84	36
0,4	65	1,22	14	64	1,14	35
0,42	68	1,13	14	67	1,07	35
0,44	66	1,15	14	62	1,34	35
0,46	66	1,11	14	63	1,20	35
0,48	60	1,17	14	58	1,24	35
0,5	68	4,32	14	59	2,31	34
0,52	72	1,06	14	62	1,19	36
0,54	70	0,99	14	62	1,02	36
0,56	69	1,43	14	64	1,27	36
0,58	62	1,44	14	59	1,67	34
0,6	64	1,08	14	56	1,16	35
0,62	72	1,16	14	58	1,19	35
0,64	69	1,23	14	62	1,19	35
0,66	64	1,21	14	60	1,24	35
0,68	64	1,36	14	57	1,40	35
0,7	62	1,25	13	53	1,40	36
0,72	58	1,21	14	50	1,30	35
0,74	57	1,12	14	51	1,94	36
0,76	68	1,04	14	58	1,12	36
0,78	63	0,79	14	59	0,94	36

0,8	61	1,04	14	57	0,96	37
0,82	61	0,89	14	56	1,01	36
0,84	68	1,51	14	65	1,21	36
0,86	60	1,29	14	55	1,46	35
0,88	65	1,63	13	60	1,41	35
0,9	67	1,35	13	62	1,29	36
0,92	66	1,61	13	60	1,48	36
0,94	65	1,60	14	59	1,43	36
0,96	64	1,54	14	59	1,34	36
0,98	66	1,50	14	59	1,38	36
1	65	1,53	14	58	1,44	36
1,02	64	1,31	13	57	1,37	35

Distancia	C.R.T. (matí)	TEXTURA	Temperatura aire (matí)	C.R.T. (migdia)	TEXTURA	Temperatura aire (migdia)
1,24	52	1,51	13	51	1,01	38
1,22	52	0,00	13	53	0,89	37
1,2	53	1,01	13	53	1,08	37
1,18	51	0,93	13	52	0,93	37
1,16	52	0,96	13	52	0,86	38
1,14	55	0,97	13	54	0,96	38
1,12	56	1,05	13	52	1,12	38
1,1	53	1,06	13	51	1,11	38
1,08	54	1,03	13	51	1,03	38
1,06	55	1,06	14	52	1,12	38
1,04	56	0,93	13	53	1,03	38
1,02	54	0,90	13	52	0,99	38
1	52	0,95	13	52	0,98	38
0,98	50	0,94	13	51	1,01	38
0,96	50	0,90	13	49	0,94	38
0,94	50	0,85	13	48	0,86	38
0,92	51	0,77	13	48	0,77	38
0,9	52	1,20	13	50	1,16	38
0,88	40	0,75	13	39	0,84	38
0,86	43	1,01	13	39	0,66	38
0,84	53	0,74	13	50	0,78	38
0,82	58	0,98	13	54	0,97	38
0,8	56	1,09	13	53	1,13	38
0,78	55	0,92	13	52	0,92	38
0,76	55	1,06	13	52	1,09	38
0,74	54	1,01	13	54	1,02	38
0,72	52	1,00	13	54	1,04	38
0,7	50	1,00	13	52	1,04	37
0,68	52	1,14	13	53	1,00	38

0,66	54	0,99	13	55	1,01	38
0,64	58	1,01	13	59	1,15	38
0,62	52	1,16	13	51	1,14	38
0,6	50	1,24	13	46	1,32	37
0,58	56	1,25	13	52	1,22	37
0,56	58	1,10	13	57	1,08	37
0,54	57	1,04	13	55	1,03	37
0,52	56	1,08	13	53	1,07	37
0,5	55	1,07	13	54	0,95	37
0,48	54	1,01	13	53	0,99	38
0,46	53	1,12	13	53	1,09	38
0,44	53	1,02	13	54	1,01	38
0,42	53	1,14	13	54	1,02	38
0,4	54	1,02	13	54	1,04	38
0,38	52	1,08	13	52	1,04	38
0,36	52	1,00	13	50	0,94	38
0,34	51	1,16	13	49	0,93	38
0,32	51	1,54	13	49	0,98	38
0,3	44	0,59	13	38	0,60	38
0,28	38	1,46	14	35	0,76	38
0,26	41	0,75	13	39	0,72	38
0,24	39	1,05	13	36	1,11	37
0,22	44	0,95	13	41	0,85	38
0,2	50	0,92	13	43	0,98	37
0,18	44	0,82	13	42	0,88	37
0,16	44	0,94	13	42	1,01	36
0,14	50	1,08	13	49	1,05	35
0,12	50	1,03	13	50	1,02	35
0,1	50	0,97	13	51	0,97	37
0,08	50	1,10	13	51	1,11	37
0,06	51	1,53	13	51	1,17	36
0,04	49	1,54	13	51	1,09	35
0,02	51	1,28	13	52	1,06	35

EVOLUCIÓ DE LA RESISTÈNCIA AL LLISCAMENT DAVANT ESTRUCTURES

COBERTES

Tot seguit s'han representat les taules amb els valors del coeficient de fregament transversal i la macrotextura dels dos túnels analitzats.

S'han marcat les zones que representen l'inici i final del túnel per tal d'observar la clara i significativa variació del CRT en aquests punts.

- PRIMER TÚNEL: Túnel de major longitud

Distancia	C.R.T.	TEXTURA
0,02	66	1,04
0,04	59	1,09
0,06	51	1,11
0,08	52	1,08
0,1	53	1,07
0,12	55	1,06
0,14	62	1,25
0,16	65	1,24
0,18	67	1,25
0,2	66	1,12
0,22	63	1,07
0,24	61	1,14
0,26	61	1,1
0,28	64	1,2
0,3	63	1,1
0,32	60	1,14
0,34	60	1,11
0,36	60	1,08
0,38	62	1,13
0,4	65	1,18
0,42	67	1,16
0,44	68	1,16
0,46	65	1,12
0,48	64	1,21
0,5	68	1,28
0,52	69	1,1
0,54	69	1,19
0,56	67	1,29

ENTRADA TÚNEL

0,58	66	0,94
0,6	64	1,17
0,62	65	1,2
0,64	66	1,16
0,66	66	1,1
0,68	64	1,22
0,7	67	1,27
0,72	71	1,34
0,74	75	1,37
0,76	70	1,2
0,78	65	1,19
0,8	66	1,19
0,82	65	1,12
0,84	64	1,1
0,86	62	1,07
0,88	60	1,12
0,9	63	1,09
0,92	64	1,21
0,94	63	1,19
0,96	64	1,39
0,98	71	1,24
1	71	1,26
1,02	69	1,27
1,04	64	1,25
1,06	63	1,26
1,08	60	1,21
1,1	59	1,19
1,12	57	1,2
1,14	58	1,15
1,16	57	1,08
1,18	60	0,99
1,2	62	1,1
1,22	64	1,18
1,24	67	1,14
1,26	68	1,18
1,28	68	1,15
1,3	68	1,16
1,32	68	1,17
1,34	71	1,25
1,36	72	1,12
1,38	70	1,05
1,4	68	1,13
1,42	69	0,99
1,44	68	1,11
1,46	68	1,12

1,48	66	1,1
1,5	63	1,04
1,52	64	1,02
1,54	67	1,07
1,56	70	1,06
1,58	71	1,05
1,6	72	1,04
1,62	71	1,16
1,64	68	1,09
1,66	68	1,05
1,68	74	0,96
1,7	78	1,04

SORTIDA TÚNEL

- SEGON TÚNEL: Túnel de menor longitud

Distancia	C.R.T.	TEXTURA
0,02	69	1,01
0,04	54	1,16
0,06	51	1,18
0,08	55	1,14
0,1	58	1,2
0,12	70	1,04

ENTRADA TÚNEL

SORTIDA TÚNEL